



TREBALL FINAL DE GRAU



ESCOLA
POLITÈCNICA SUPERIOR
UNIVERSITAT DE LLEIDA
INSPIRING THE FUTURE

Estudiant: Alan Moncho Aracil

Titulació: Grau en Enginyeria Mecànica

Títol de Treball Final de Grau:

Disseny i estudi preliminar d'homologació d'una llanta de CRFP

Director/a: Miquel Nogués Aymamí

Presentació

Mes: Setembre

Any: 2018

Resum

Aquest projecte amb el nom “Disseny i estudi preliminar d’una llanta de CFRP” és una primera introducció al disseny i validació d’un component de l’automòbil abans de ser prototipat. Per tal de dur a terme aquest fet primerament s’ha desenvolupat un disseny que compleixi amb tota la normativa involucrada en el disseny de llantes per automòbils.

Tanmateix però el projecte no es delimita al disseny, ja que s’estudia les millores en relació pes-rigidesa que pot portar la utilització de fibra de carboni en comptes d’aliatges lleugers de l’alumini, això implica una sèrie de factors que limiten el disseny com són els gruixos i espessors de la llanta.

La fibra de carboni si no s’intercala convenientment, no actua de manera isòtrop i per tant els esforços suportats en una direcció concreta poden fer fallar l’element estudiat. Així doncs es comenta la col·locació de capes de fibres de carboni segons l’orientació de les fibres per poder considerar el material isòtrop i poder realitzar una primera aproximació de càlcul de tensions equivalents i deformacions mitjançant el software paramètric PTC Creo Simulate.

Aquests càlculs són derivats d’una sèrie d’assaigs que ha de superar una llanta per tal de poder ser homologada i per tant s’ha modelitzat l’assaig per dur a terme els càlculs esmentats.

Remarcar que els resultats són molt satisfactoris, ja que s’ha aconseguit que la llanta superi amb un gran marge tots els assaigs, a més de resultar un 38% més lleugera que una realitzada amb un aliatge convencional.

En l’aspecte de resistència també s’han assolit uns grans resultats, ja que en tots assaigs realitzats mitjançant un anàlisi d’elements finits, la tensió màxima equivalent de Von Mises no superava mai el 44% de la tensió màxima admesa pel material segons la seva fitxa tècnica. Aquests resultats però no poden substituir un assaig real en les condicions descrites en la norma, però si indiquen les directrius a seguir en cas de falla estructural de l’element estudiat.



Índex General

I. Memòria.....	7
1. Objecte.....	8
2. Abast.....	9
3. Antecedents	10
3.1 Paràmetres bàsics.....	10
3.2 Codificació d'una llanta.....	12
3.3 Tipologia del material escollit per la fabricació	14
4. Normativa adoptada per la realització del projecte	19
4.1 Norma aplicada al projecte	19
4.2 Bibliografia.....	20
5. Definicions i abreviatures	22
5.1 Definicions	22
5.2 Abreviatures.	22
6. Requisits del model.	24
6.1 Requisits dimensionals	25
6.2 Requisits de disseny	25
6.3 Requisits mecànics	25
7. Anàlisis de solucions	26
7.1 Característiques dimensionals	26
7.2 Característiques de disseny.....	27
7.3 Característiques dels materials del projecte.....	32
8. Resultats finals.....	36
8.1 Disseny final	36
8.2 Resultat de la simulació dels assaigs	39
8.3 Conclusions globals extretes	52
9. Annexes a la memòria	54
9.1 Índex d'annexes.....	54
II. Plec de condicions	69
1. Llistat de materials.....	70
1.1 Material necessari per la realització del motlle	70
1.2 Materials necessaris per la realització de la peça	70
1.3 Materials necessaris per l'aplicació dels tractaments	71



2. Qualitat dels materials	72
2.1 RAKU®-TOOL WB-0700	72
2.2 AeroFilm™ R210	72
2.3 Aerofilm® VB200	73
2.4 HexPly ® M81	73
2.5 Alumini 6061-T651	73
2.6 Core Lite®PVC HT60	73
2.7 HexBond™ EA9351MB STRUCTIL	74
2.8 Productes Glasurit®	74
2.9 MC-156 - High Gloss Ceramic Clear	74
3. Assaigs i condicions d'ús	75
3.1 Explicació dels assaigs a realitzar per l'homologació de la llanta	75
III. Amidaments	82
1. Amidaments d'enginyeria	84
1.1 Amidaments de llicències de software	84
1.2 Amidaments de disseny	84
1.3 Amidaments de càlcul	84
2. Amidaments de fabricació i materials	85
2.1 Amidaments de materials	85
2.2 Amidaments de fabricació	86
IV. Pressupost	87
1. Costos derivats de feines d'enginyeria	89
1.1 Cost de llicències de software	89
1.2 Costos de disseny i càlcul	89
2. Costos de fabricació i materials	90
2.1 Amidaments de materials	90
2.2 Costos de fabricació	91
3. Pressupost final	92
V. Plànols	93
1. Vista general de l'assemblatge i detall zona d'unió	95
2. Plànol general de la llanta AK 77 CLK	96
3. Plànol de placa frontal	97
4. Plànol de placa posterior	98



Índex de figures

I. Memòria

3. Antecedents

Figura 1.3.1	Paràmetres característics de la llanta.....	10
Figura 1.3.2	Bombeig de la llanda.....	11
Figura 1.3.3	Codificació de perfils de roda.....	11
Figura 1.3.4	Codificació complementaria de la llanda.....	13
Figura 1.3.5	Relació cost producció-propietats dels Prepregs.....	14
Figura 1.3.6	Patrons de malla més característics.....	15
Figura 1.3.7	Col·locació isotròpica de capes UD.....	16
Figura 1.3.8	Teixit multiaxial NC2.....	16
Figura 1.3.9	Configuració d'un forn autoclau.....	17
Figura 1.3.10	Configuració de capes de buit en Prepregs.....	18

7. Anàlisis de solucions

Figura 1.7.1	Paràmetres característics d'una llanta EH2+.....	27
Figura 1.7.2	Esbós a mà alçada del disseny.....	28
Figura 1.7.3	Model de llanta que ha inspirat el disseny.....	28
Figura 1.7.4	Opció amb anclatge PDC 5x120.....	28
Figura 1.7.5	Perspectiva del model 3D amb sistema "center lock".....	30
Figura 1.7.6	Vista posterior del model amb sistema "center lock".....	30
Figura 1.7.7	Detall del sistema "center lock".....	31

8. Resultats finals

Figura 1.8.1.1	Vista frontal del model realitzat.....	36
Figura 1.8.1.2	Vista posterior del model realitzat.....	36
Figura 1.8.1.3	Vista lateral del model realitzat.....	37
Figura 1.8.1.4	Vista en secció del perfil del model realitzat.....	37
Figura 1.8.1.5	Perspectiva frontal amb el model renderitzat.....	38
Figura 1.8.1.6	Perspectiva posterior amb el model renderitzat.....	38
Figura 1.8.2.1	Constricció per realitzar el "Rotating Bending Test".....	40
Figura 1.8.2.2	Aplicació del Moment.....	40
Figura 1.8.2.3	Desplaçaments màxims del "Rotating Bending Test".....	41
Figura 1.8.2.4	Tensions màxims del "Rotating Bending Test".....	42
Figura 1.8.2.5	Constricció del assaig "Rolling Test".....	44
Figura 1.8.2.6	Aplicació de la pressió del pneumàtic.....	45
Figura 1.8.2.7	Aplicació de les reaccions en els tres casos estudiats.....	45
Figura 1.8.2.8	Desplaçaments màxims del "Rolling Test".....	46
Figura 1.8.2.9	Tensions màxims del "Rolling Test".....	46
Figura 1.8.2.10	Constriccions per realitzar "Impact Test".....	48
Figura 1.8.2.11	Delimitació de la zona d'impacte.....	49
Figura 1.8.2.12	Deformacions màxims del "Impact Test".....	50
Figura 1.8.2.13	Tensions màxims del "Impact Test".....	51
Figura 1.8.3.1	Diagrama d'optimització del model.....	53

II. Plec de condicions

1. Llistat de materials

Figura 2.1.1	Bloc mecanitzable del material WB-0700.....	70
--------------	---	----

3. Assaigs i condicions d'ús



Figura 2.3.1	Diagrama de l'assaig “Rotating Bending Test”.....	77
Figura 2.3.2	Muntatge real de l'assaig “Rotating Bending Test”.....	77
Figura 2.3.3	Diagrama de l'assaig “Rolling Test”.....	79
Figura 2.3.4	Realització en laboratori del “Rolling Test”.....	79
Figura 2.3.5	Imatge de l'assaig “Impact Test”.....	81
Figura 2.3.6	Diagrama de l'assaig “Impact Test”.....	81

Índex de taules

I. Memòria

3. Antecedents

Taula 1.3.1	Codificació d'usos de les llantes.....	12
Taula 1.3.2	Avantatges del material NC2.....	16

7. Anàlisis de solucions

Taula 1.7.1	Paràmetres característics del perfil de llanta escollit.....	27
Taula 1.7.3	Propietats del material escollit	32

8. Resultats finals

Taula 1.8.2	Resultats de deformacions màximes del “Rolling test”...	46
Taula 1.8.3	Resultats de tensions màximes del “Rolling Test”.....	46
Taula 1.8.4	Resultats de deformacions màximes del “Impact Test”...	50
Taula 1.8.5	Resultats de tensions màximes del “ Impact Test”.....	51

II. Plec de condicions

2. Qualitat dels materials

Taula 2.1.2.1	Materials consumibles per la realització de la llanda.....	70
Taula 2.1.2.2	Materials que conformen la llanda.....	71
Taula 2.1.3.1	Materials necessaris per protegir contra els UV.....	72
Taula 2.1.3.1	Materials per protegir contra la temperatura i corrosió....	72
Taula 2.2.2.1	Normes del material RAKU®-TOOL WB-0700.....	72
Taula 2.2.2.2	Normes del material AeroFilm™ R210.....	72
Taula 2.2.2.3	Normes del material AeroFilm™ VB200.....	73
Taula 2.2.2.4	Normes del material HexPly ® M81.....	73
Taula 2.2.2.6	Normes del material Core Lite®PVC HT60.....	73
Taula 2.2.2.7	Normes del material HexBond™ EA9351MB STR.....	74
Taula 2.2.2.9	Normes del material MC-156 – H.G.Ceramic.....	74

3. Assaigs i condicions d'ús

Taula 2.3.1	Valors emprats en l'equació 2.3.1.....	77
Taula 2.3.2	Valors emprats en l'equació 2.3.2.....	78
Taula 2.3.3	Valors emprats en l'equació 2.3.3.....	81



I. Memòria



1. Objecte

Es defineix llanta o “Llanda” com a “*cèrcol metàl·lic unit al botó de la roda, generalment per mitjà dels raigs, que serveix de suport al pneumàtic*” [1]. Així doncs, partint d'aquesta definició la llanta és l'element de la roda que uneix la caixa amb el pneumàtic. Tanmateix les funcions d'aquest element no solament es limiten a ser una simple unió entre dos elements del conjunt roda. Ja que es tracta d'una peça crítica a l'hora de dissenyar un vehicle, ja que és l'element encarregat de transmetre la potència de l'eix als pneumàtics així com el de guiar el vehicle amb precisió independentment de l'estat del sòl.

L'estabilitat i la trajectòria dels vehicles depèn de manera directa del comportament de la llanta, aquesta ha de suportar esforços mecànics sense que la trajectòria es vegi modificada, o l'estructura es vegi compromesa, tant en esquerdes com amb deformacions no desitjades. Cal recalcar també que han de ser lleugeres pel fet que el comportament del vehicle es veurà compromès si aquestes són pesades, ja que al tractar-se d'una massa no suspesa afectarà l'estabilitat i comoditat del vehicle, a més a més el factor pes farà disminuir o augmentar els moments angulars deguts a les acceleracions de l'element.

És principalment per aquests motius que es creu convenient la realització d'un disseny d'una llanta basada en un material compost, més lleuger que els aliatges convencionals emprats en el sector de l'automoció actualment.

En l'actualitat els principals materials que utilitzats en les llantes són els aliatges d'alumini EN AW-6082 [AlSi1MgMn] amb una densitat de $2,7 \text{ g/cm}^3$ i capaç de suportar tensions de 295 MPa[2], i inclús podem trobar aliatges basats en magnesi EN 1753 MC21230 el qual presenta una densitat de $1,8 \text{ g/cm}^3$ i suporta una tensió de 225 MPa[3]. Així doncs, l'ús de compòsits pot afavorir el compliment amb escreix de tots els requeriments i millorant les propietats dels materials convencionals, ja que la fibra de carboni presenta una densitat mitjana de $1,56 \text{ g/cm}^3$ amb una tensió màxima de 900 MPa [4], aquestes propietats fan que sigui un material clau en l'automoció i s'estigui implantant a grans passos en la indústria, no obstant pocs fabricants han intentat fabricar llantes basades en aquest material i per tant es creu que és un mercat possiblement amb molt potencial.



2.Abast

En aquest projecte doncs s'intentarà realitzar el disseny d'una llanta basada en CFRP (*"carbon fiber reinforced polymer"*) o fibra de carboni, ja que actualment uns quants fabricants estan iniciant dissenys de llantes realitzades d'aquest material i per tant aquest fet corrobora la seva viabilitat.[5,6,7]

En primer lloc el projecte es basarà amb la realització del disseny de la llanta amb software CAD i posteriorment es realitzarà un estudi d'esforços mecànics segons uns assaigs basats en la normativa que regula actualment l'homologació de les llantes. Per tal de poder realitzar el disseny de la llanta s'escollirà una mesura real d'un vehicle en el mercat, ja que d'aquesta manera és més convenient la possibilitat d'introduir el producte al mercat i poder veure'n la millora de propietats amb l'ús de CFRP.

La prioritat dels objectius del projecte són primerament l'aplicació d'un estudi d'elements finits en un disseny segons les característiques dels tests descrits en la normativa que prèviament s'introduirà i tot seguit la realització d'un disseny capaç d'assolir els requeriments per tal de poder ser homologat, esmentar però, que l'ordre de realització d'aquests objectius és invers, ja que sense disseny no es possible realitzar l'estudi per elements finits, en tercer lloc es realitzarà una anàlisi dels resultats sorgits de l'estudi i dels diferents tests realitzats.

Remarcar però que en tot cas el projecte està enfocat a un aspecte merament acadèmic i no és cap estudi de mercat, tot i que possiblement és una opció a tenir en compte. Aquest fet deriva que el disseny no estigui completament optimitzat en la reducció de costos, ja que no es tindran en compte les limitacions a l'hora de realitzar una fabricació a gran escala del producte, ni els problemes de fabricació posteriors derivats del disseny no poden ser estudiats degut a la manca de recursos materials i temporals.

En conclusió el projecte solament serà un estudi preliminar de la viabilitat d'homologació d'una llanta realitzada en un material compost, amb el seu disseny i posterior estudi d'esforços, per tal de verificar una millora envers els materials emprats actualment.

3. Antecedents

Per tal de comprendre la solució proposada s'exposarà una sèrie de conceptes tècnics i paràmetres que defineixen la llanta.

3.1 Paràmetres bàsics

- Diàmetre efectiu: Distància entre l'assentament del taló del pneumàtic i el seu oposat passant pel centre de l'eix, mesurat en el pla dels radis. Mesura expressada amb polzades.(veure figura 1.3.1).[8]

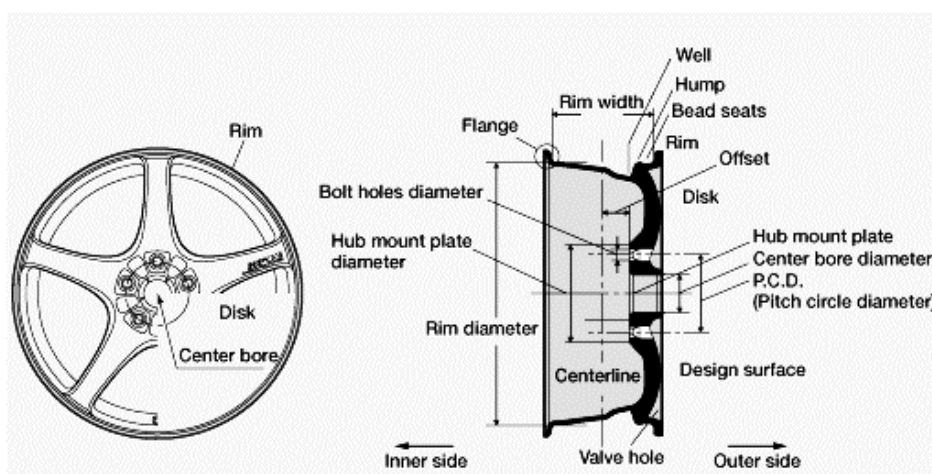


Figura 1.3.1 Extreta de la pàgina web del fabricant de llantes OZ Racing, en la s'observa els paràmetres característics de les llantes.

- Ample efectiu: Distància axial entre els cantells oposats de les pestanyes, l'amplada de pestanya a pestanya de la llanta ha de ser com a mínim $\frac{3}{4}$ parts de l'amplada de la secció del pneumàtic. Mesura expressada amb polzades. (veure figura 1.3.1). [8]
- ET : Del alemany “Einpresstiefe” o “offset” i amb català bombament, distància entre el disc de muntatge de la llanta i l'eix de simetria d'aquesta, mesurada amb mm. Aquest desplaçament pot classificar-se com:
 - Offset de zero: La superfície de muntatge de la llanta està alineada amb la línia central de la roda
 - Offset positiu : La superfície de muntatge de la llanta està situada cap a la part frontal o exterior de la roda
 - Offset negatiu : La superfície de muntatge en aquest cas es troba en la part posterior de la llanta, és a dir la part més interior.

(veure figura 1.3.2)

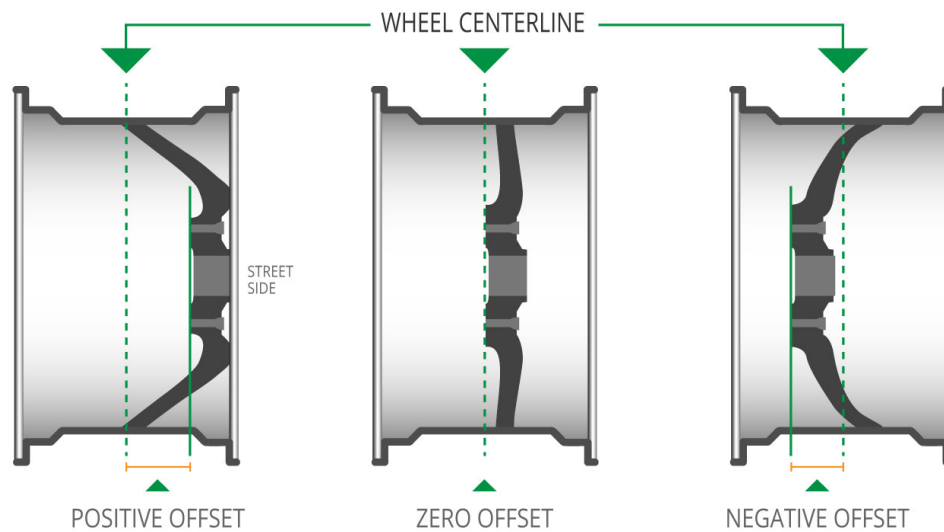
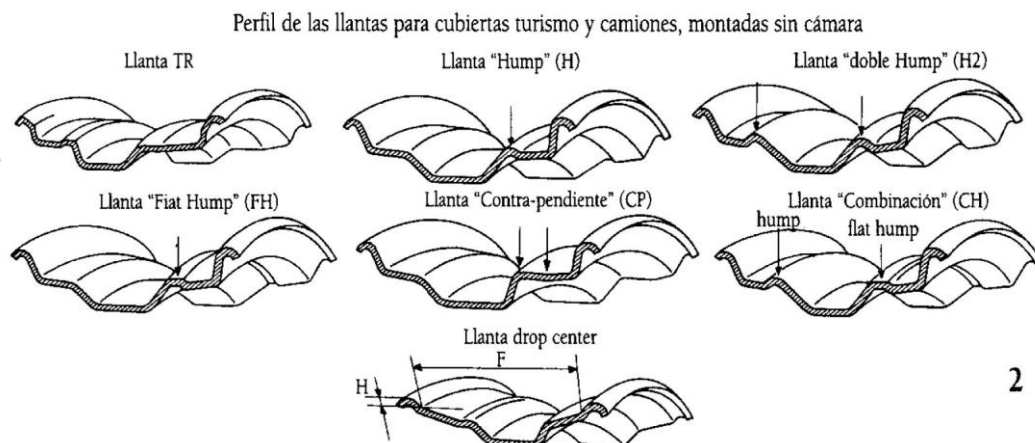


Figura 1.3.2 Il·lustració que explica els diferents tipus de bombeig que pot tenir una llanta.

- **Hump o Perfil:** És el perfil que impedeix el pneumàtic llisqui al voltant de la roda, evitant d'aquesta manera una pèrdua de pressió en els pneumàtics.[9]



2

Figura 1.3.3 Il·lustració extreta del Arias Paz en què s'observa els diferents perfils de llanta i la codificació associada a cada un.

- **PCD: "Pitch Circle Diameter".** Indica el diàmetre del cercle que connecta el centre dels forats de fixació amb el cub de l'eix, mesura expressada amb mm.[8]
- **Nº de forats:** El nombre de forats necessaris per fixar la llanta al vehicle, apareix juntament amb el PCD.
- **Ancoratge a la caixa:** Aquest paràmetre va molt lligat al PDC i el nombre de forats, ja que podem trobar diferents tipus d'ancoratges, tanmateix també existeix el sistema "Center Lock" on una única femella és l'encarregada de fixar la roda, aquest paràmetre és primordial, ja que les restriccions i reaccions per causa de les forces rebudes per l'exterior de la llanta aniran condicionades segons l'elecció de l'ancoratge de la llanta.



3.2 Codificació d'una llanta

Segons l'apartat número 5 de la norma europea UN/ECE124 [8,10] i de la normativa UNE-69018 [11] les rodes han d'anar codificades seguint el següent exemple:

7.5Jx16H2 ET35

On cada terme fa referència directa als paràmetres descrits anteriorment:

- El primer terme "7,5" És l'amplada de la llanta
- El segon terme "J" Fa referència que és una llanta amb aplicació a turismes tal com es pot veure en la taula 1.3.1 mostrada a continuació.
- El tercer terme va lligat si la roda està feta d'una sola peça (x) o és multipeça (-)
- El quart terme "16" És el diàmetre efectiu .
- El cinquè "H2" al perfil emprat de la llanta en aquest cas correspon a doble ressalt.
- I finalment l'últim terme "ET35" Fa referència al Offset que presenta la llanta.

Taula 1.3.1 Codificació d'usos de llantes informació extreta de la pàgina web oponeo (veure a <https://www.oponeo.es/articulo/como-leer-las-especificaciones-en-las-llantas-las-dimensiones-el-perfil-de-la-brid-a-y-el-perfil-de-seccion-de-la-llanta>)

Lletra d'especificació	Aplicació
A,D	Bicicletes, Ciclomotors, Motocicletes
B	Llantes antigues de fins 6" d'amplada
F	Furgons, Camions, Muntacàrregues
G,H	Furgons, Camions amb llantes "semi-drop"
J	Turismes
JJ	Tot terrenys
P,K	Vehicles antics
S,T,V	Vehicles amb llantes "flatbase"(perfil pla)
W	Vehicles agrícoles

Esmentar també que la norma UNE 69018 especifica l'obligació d'inscriure el mes i any de fabricació del component i una codificació d'identificació interna pel fabricant de la llanta.

Tanmateix hi ha un seguit de codis gravats que a part del genèric obligatori demostren que la llanta

ha estat homologada segons les exigències dels diferents països, aquests gravats són els següents:

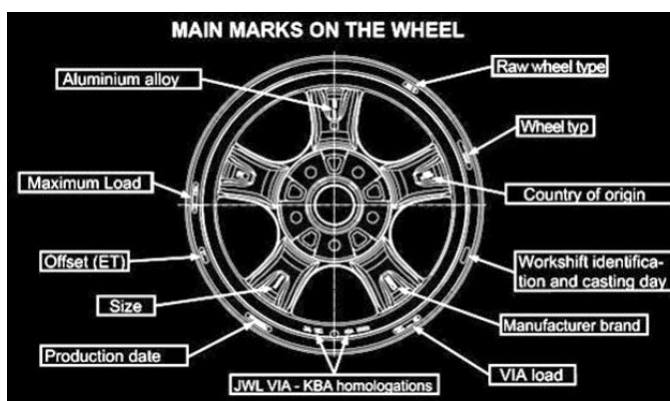


Figura 1.3.4 Imatge extreta de la pàgina del fabricant OZ Racing en que es visualitza la ubicació de tots els codis corresponents d'una llanta.

- Càrrega VIA: Es tracta de la càrrega que la roda pot aguantar segons l'estàndard japonès VIA.
- JWL VIA: Homologació que rep una llanta des de l'associació d'inspecció de vehicles del Japó VIA. La marca JWL doncs es refereix a les sigles de “*Japan Light Alloy Wheel*”, que homologades pel ministeri del transport del Japó certifica que les llantes de fosa o forjades han superat les proves satisfactòriament.
- “KBA homologation” : Aquesta homologació es refereix a la certificació del govern federal d'Alemanya que verifica, segons el ministeri de transport, que la llanta és vàlida i ha superat els tests del TÜV (*Technischer Überwachungs-Verein*), entitat que certifica que la llanta ha superat satisfactòriament tots els tests i anàlisis, per tal que aquesta pugui ser venuda a Alemanya.
- Càrrega màxima: Especifica la càrrega màxima que la llanta és capaç de suportar en condicions nominals.

Finalment comentar que la normativa KBA alemanya és la mateixa que s'aplica a la unió europea segons la UN/ECE 124 [8] que és la certificació de llantes per automòbils, que es seguirà en aquest projecte, ja que és més exigent que la norma UNE.

Aquesta certifica i garanteix la qualitat i la seguretat de la llanta. És obligatori que la certificació sigui individual per cada mesura de roda i per cada sistema diferent de muntatge, és així doncs que cada llanta tindrà un certificat individual la qual la certificarà per un nombre limitat de vehicles.

3.3 Tipologia del material escollit per la fabricació

En aquest projecte s'ha decidit treballar amb CFRP gràcies al gran avantatge que presenta de relació resistència de tensions en vers al pes. Afavorint doncs en l'aspecte de masses no suspeses del vehicle i les inèrcies que generen les rodes de l'automòbil, millorant les prestacions d'aquest. El polímer emprat és una resina termoplàstica epòxid amb una matriu de fibra de carboni. No obstant el CFRP presenta un gran inconvenient a l'hora de realitzar el càlcul d'esforços perquè al tractar-se d'un material compost aquest presenta un comportament anisòtrop, és a dir, les propietats de resistència no són les mateixes en totes les direccions sinó que depenen de l'orientació de les fibres. No obstant en aquest treball gràcies a una col·locació específica de les capes de fibres es considera el comportament de la llanta com a quasi-isotròpic, per tal d'aconseguir aquest comportament s'analitzarà la tipologia de matrius existents, la seva col·locació i la seva laminació per tal de fer efectiva aquesta consideració.

Quan es parla de realitzar peces de fibra de carboni hi ha quatre opcions principals de laminació, la primera és la de fibra seca amb via humida, la segona és fibra seca i via humida però amb buit, la tercera és la de laminar amb fibra seca i infusió i finalment existeix la tecnologia Prepreg, aquesta tecnologia es caracteritza a les altres ja que la matriu del teixit ja està impregnada del material polimèric i de l'agent curant i per tant no cal afegir-li-hi a posteriori en procés de fabricació. D'aquest fet en resulta millors propietats mecàniques ja que el material porta la quantitat de resina òptima, fent que les peces siguin més lleugeres i resistents.

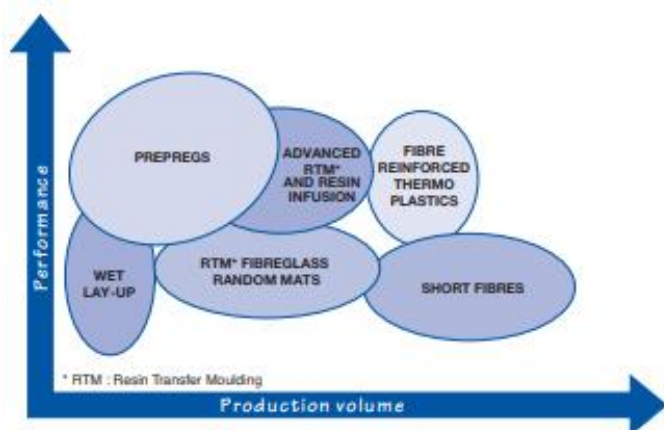


Figura 1.3.5 A l'esquerra, diagrama que representa la relació propietats mecàniques en vers el volum de producció d'una peça amb aquesta tecnologia. Diagrama extret del fabricant Hexcel. (2018). Prepreg Technology.

Disseny i estudi preliminar d'homologació d'una llanta CFRP Alan Moncho Aracil

En el diagrama representat a la figura 1.3.5, s'aprecia les diferents opcions classificades segons les seves propietats mecàniques i les necessitats de producció demandades, al tractar-se d'un element crític del vehicle es requereix la màxima resistència, tanmateix aquest tipus de llantes no es realitza amb gran sèrie i per tant l'opció del Prepreg es considera com la més convenient.

El principal inconvenient d'aquesta tecnologia és en l'emmagatzematge, ja que per tal que no s'endureixi el material a causa de l'agent curant, resulta més costos i delicat per culpa del fet que ha de ser conservat a temperatures baixes (-18°C)[4], de la mateixa manera però per realitzar un curat de la peça, aquesta ha d'assolir una elevada temperatura mitjançant un cicle especificat en les fulles tècniques que ens subministra el fabricant.

Tanmateix l'estil de la trama pot variar les propietats del material compost segons el trenat de la mateixa i les ondulacions que presenta aquesta, ja que un baix trenat de la malla proporcionarà millors propietats mecàniques gràcies al fet que les fibres rectes poden suportar majors càrregues en canvi a menys ondulacions de malla aquesta podrà adoptar formes més complexes.

Gràcies doncs aquesta classificació es pot distingir de diferents patrons de mallatge com es pot observar en la següent figura.



Figura 1.3.6 Patrons de malla més característics que es poden trobar en la fibra de carboni, d'esquerra a dreta Plain Weave, Satin Weave, Twill Weave.

- “Plain weave”: (Primera imatge en la figura 1.3.6) Teixit més comú, el qual presenta bones propietats en les direccions principals però té l'inconvenient de presentar menor resistència degut a l'alta ondulació de la capa.
- “Satin weave”: (Segona imatge en la figura 1.3.6) Teixit en què els filaments es creuen cada 3 o més fils, no obstant aquest tipus de teixits presenten quasi les mateixes característiques que els UD (unidireccionals), sent aquests últims més econòmics i abundants

- **“Twill weave”**: (Tercera imatge en la figura 1.3.6) Trama en la qual un fil es creua cada dos filaments en perpendicular, formant una diagonal constant, presentant una millor adaptació de formes que els teixits Plain weave però sense perdre la bi-direcció dels esforços.

El principal problema d'aquests patrons és que són que anisòtrops i per tant no estan recomanats per l'ús d'elements que poden sofrir esforços en múltiples direccions. Com a resposta d'aquesta necessitat la indústria ha desenvolupat malles no teixides entre si, les quals mitjançant la superposició de fibres unidireccionals es crea una trama la qual presenta propietats quasi-isotròpiques. Aquesta col·locació de capes unidireccionals queda amb l'orientació que es pot observar en la figura 1.3.7

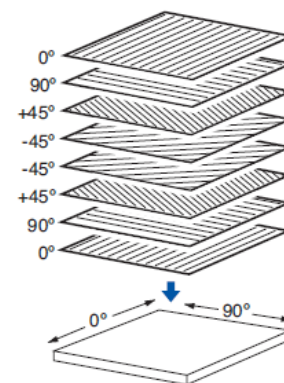


Figura 1.3.7 Col·locació de capes unidireccionals creant una trama quasi isotròpica. Imatge extreta del fabricant Hexcel.

Així doncs el fabricant escollit Hexcel dona l'opció d'emprar la tecnologia NC2, que consisteix en malles no teixides entre si que poden oferir l'avantatge de les fibres UD (Unidireccionals). Aquesta tecnologia ofereix els següents avantatges:

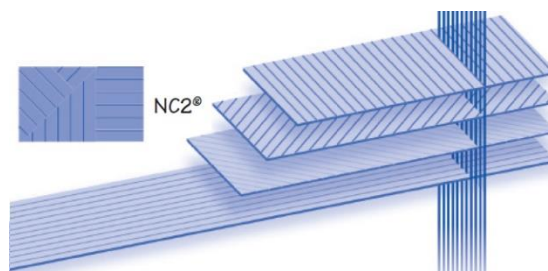


Figura 1.3.8 Presentació del teixit multiaxial NC2 del fabricant Hexcel.

Taula 1.3.2 Avantatges de la tecnologia multiaxial NC2 respecte a les malles convencionals.

- Estalvi econòmic i de temps per realitzar les malles	- Optimització del pes respecte als teixits convencionals	- Increment de les càrregues suportades
- Resistència en múltiples direccions	- Sense ondulacions en el teixit	- Fibra homogènia deixant menys espais
- Orientació de fibres il·limitada	- Estalvi de material degut a menys nusos	- Més flexible envers el modelatge de formes complexes

3.3.1 Breu explicació del procés de fabricació dels Preimpregnats

Tal com s'ha esmentat amb anterioritat els Prepregs són teixits en què el material ja ve amb la resina precatalitzada, per tal que no s'endureixi el material, el catalitzador es manté de forma latent prolongadament gràcies al fet que aquest tipus de materials es guarden congelats a temperatures de -18°C . Així doncs la resina no s'endureix fins que es comença a realitzar el procés de curat de la peça, per tal d'iniciar aquest procés es necessita la utilització d'un forn que depenent de les propietats que es vulguin aconseguir aquest serà convencional o autoclau, aquest últim és capaç de mantenir la temperatura fins a 150°C durant 12 hores sempre treballant al buit.[4]

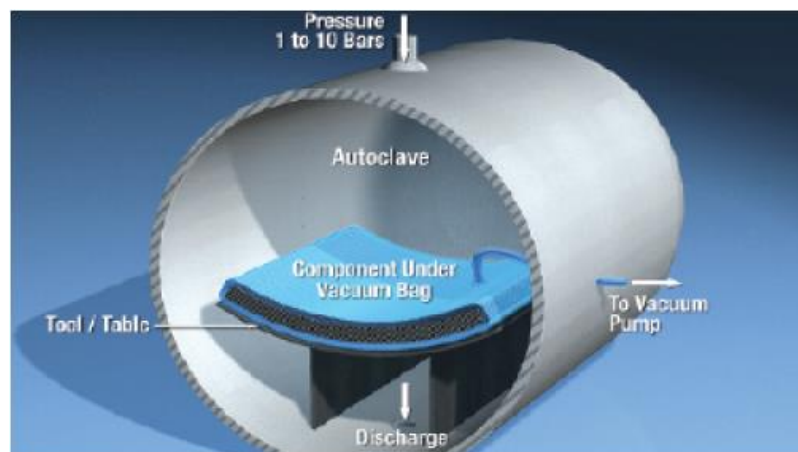


Figura 1.3.9 Configuració d'un forn autoclau , imatge extreta de Hexcel. (2018). Prepreg Technology

Els Prepregs es diferencien de totes les altres tècniques de laminació degut al fet que l'optimització entre la resina i la matriu del teixit és l'òptima i per tant les propietats i qualitat del material obtinguts són les adequades.

La col·locació de les fibres a la superfície del motlle sovint es fa a mà amb l'ajuda d'unes espàtules de niló i un bufador d'aire calent perquè que la resina tingui més fluïdesa per poder adquirir més fàcilment la forma desitjada. Un cop s'ha superposat les capes del material en el motlle aquest es tanca amb uns films estancs i s'hi practica el buit. Un cop realitzat el buit es col·loca la peça en el forn autoclau, on es calenta la peça fins 135°C a 7 bars [12], durant 3 hores. Això permet que la resina s'escalfi i flueixi sobre les fibres repartint-se de manera equitativa entre tot l'entramat, adoptant així un acabat més cuidat i unes propietats mecàniques excepcionals.

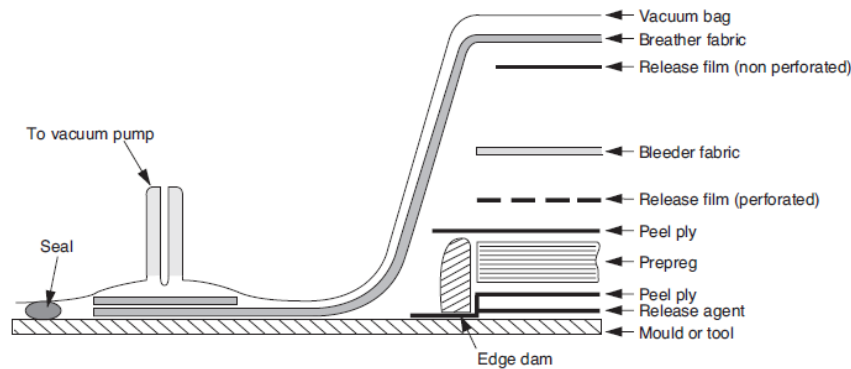


Figura 1.3.10 Configuració de les capes necessàries per un correcte buit, desenmollat i curat en el forn autoclau, imatge extreta de Hexcel. (2018). Prepreg Technology

Aquest fet però encareix els costos i impossibilita la producció a gran escala, tanmateix els motlles emprats han de ser de resina epòxid per tal que puguin aguantar les temperatures sense destruir-se i mantenint les toleràncies de l'element.

El curat en forn autoclau s'empra per a la fabricació de components estructurals d'alta qualitat, ja que mitjançant aquest procés s'obté una baixa porositat del material, aquesta tècnica requereix doncs una bossa de buit, i un forn autoclau, capaç d'aplicar pressió i calor de manera completament controlada per un adequat procés de curat.



4. Normativa adoptada per la realització del projecte

4.1 Norma aplicada al projecte

La normativa especificada i a seguir per la consecució del projecte és l'exposada a continuació:

- UNE 26-256-80 : Métodos de ensayo de laboratorio para evaluar resistencia la de ruedas/llantas. Correspondència amb norma ISO 3894
- UNE 26-255-79 : Métodos de ensayo para ruedas de turismos. Correspondència amb norma ISO 3006.
- UNE 26-291-80 parte I-II: Terminología y definiciones para ruedas y llantas. Correspondència amb norma ISO 3911.
- UNE 69018 : Neumáticos, llantas y válvulas, Generalidades. Correspondència amb la norma ETRTO de 2001.
- UNE 69026 : Llantas de base honda para vehículos de turismo y sus remolques.
- UN/ECE 124 : Replacement wheels for passenger cars.

En el plec de condicions es pot consultar amb més detall els assaigs virtuals realitzats en el projecte per l'obtenció de resultats finals. Recordar que l'explicació dels assaigs realitzats és una síntesi dels mateixos i per més informació consultar els annexes de la norma UN/ECE 124.



4.2 Bibliografia

- [1] Pascual i Ferrando, E. (1995). *Diccionari de la llengua catalana* (3rd ed., p. 454). Barcelona: Enciclopèdia Catalana.
- [2] Aalco Metals Ltd. (2016). Aluminium Alloy 6082-T6 Specifications [PDF]. Wednesbury. Retrieved from http://www.aalco.co.uk/datasheets/Aluminium-Alloy_6082-T6~T651_148.ashx
- [3] Avedesian, M., & Baker, H. (1999). Magnesium and magnesium alloys (2nd ed., p.226). Materials Park, Ohio: ASM International.
- [4] Hexcel. (2018). Prepreg Technology [PDF]. Retrieved from http://www.hexcel.com/user_area/content_media/raw/Prepreg_Technology.pdf
- [5] Ford GT Carbon-Fiber Wheels Showcase the Dynamic, Weight, NVH and Efficiency Advantages of Innovative Material | Ford Media Center. (2018). Retrieved from <https://media.ford.com/content/fordmedia/fna/us/en/news/2016/05/17/ford-gt-carbon-fiber-wheels.html>
- [6] Staff, A. (2018). An Inside Look at Making Carbon Fiber Wheels | Composites Manufacturing Magazine. Retrieved from <http://compositesmanufacturingmagazine.com/2014/05/inside-look-making-carbon-fiber-wheels/>
- [7] Here's How Porsche Builds its \$18,000 Carbon-Fiber Wheels - Motor Trend. (2018). Retrieved from <https://www.motortrend.com/news/heres-porsche-builds-18000-carbon-fiber-wheels/>
- [8] Las ruedas | Medición y detalles | OZ Racing - OZ Racing. (2018). Retrieved from <https://www.ozracing.com/es/mundo-oz/tecnologia/llantas>
- [9] Arias-Paz, M. (2005). Manual de automóviles (55th ed.). Madrid: Dossat 2000.
- [10] UNECE. Agreement Concerning the Adoption of Uniform Conditions of Approval and Reciprocal Recognition of Approval for Motor Vehicle Equipment and Parts (2007). Geneva.
- [11] AENOR. UNE 69018 Neumáticos, llantas y válvulas, generalidades (2002). Madrid-España.
- [12] Hexcel Corporation. (2016). HexPly M81 EU Data Sheet [PDF].
- [13] E1 Carbon Fiber Wheels. (2018). Retrieved from <http://www.esecarbon.com/>
- [14] RealOEM.com - Online BMW Parts Catalog. (2018). Retrieved from https://www.realoem.com/bmw/enUS/showparts?id=1H91-EUR-06-2017-F87-BMW-M2&diagId=36_2430



- [15] AENOR. UNE 69026 Neumáticos, llantas y válvulas, Llantas de base honda para vehículos de turismo y sus remolques (2007). Madrid-España.
- [16] Series RS2M - RS208M. (2018). Retrieved from <https://www.hrewheels.com/wheels/series-rs2m/rs208m>
- [17] Ortiz Berrocal, L. (2004). Elasticidad (3rd ed.). Madrid: McGraw-hill.
- [18] Calavera Ruiz, J. (2008). Proyecto y cálculo de estructuras de hormigón (2nd ed.). Madrid: Instituto Técnico de Materiales y Construcciones.
- [19] C.L,S.H, C. (2008). Finite element simulation of wheel impact test. [online] Yunlin, Taiwan: Mechanical Engineering Department, National Yunlin University of Science and Technology. Available at: http://jamme.acmsse.h2.pl/papers_vol28_2/2828.pdf
- [20] Department of Mechanical Engineering (2010). Numerical simulation of dynamic side impact test for an aluminium alloy wheel. [online] Sakarya, Turkey.: Sakarya University,. Available at: https://www.researchgate.net/publication/266895480_Numerical_simulation_of_dynamic_side_impact_test_for_an_aluminium_alloy_wheel
- [21] Chrysler India Automotive Pvt. (2011). Simulation and Test Correlation of Wheel Impact Test. [online] Chennai, India.: Chrysler India Automotive Pvt. Ltd. Available at: https://www.researchgate.net/publication/280625785_Simulation_and_Test_Correlation_of_Wheel_Impact_Test
- [22] XentryPortal Daimler. (2018). [online] Available at: https://xentryportal.i.daimler.com/public/beratung_dienstleistungen/karosserie_und_lacke/lacktechnik_1/mb_manual_2016_glasurit_es_1.pdf
- [23] Techinfo.glasurit.com. (2018). TI - Glasurit Layout. [online] Available at: http://techinfo.glasurit.com/en_UK/PKW/
- [24] Clearcoating.com. (2018). MC-156 High Gloss Ceramic Clear | Cerakote Clear. [online] Available at: <https://www.clearcoating.com/products/MC-156/>
- [25] Corelitecomposites.com. (2015). CoreLite PVC - Cross-Linked PVC Foam Core. [online] Available at: <https://www.corelitecomposites.com/corelite-pvc.html>



5. Definicions i abreviatures

5.1 Definicions

Boixa: Peça cilíndrica, de secció de corona circular, generalment de ferro colat, acer, bronze o llautó disposada dins el botó d'una roda.

Catalitzador: Element químic que provoca per la seva sola presència la realització de quelcom que existia potencialment.

Flanc de roda: Cadascuna de les parts laterals exteriors de la roda.

Isòtrop: Propietat dels materials en què una substància presenta les mateixes propietats físiques en totes les direccions.

5.2 Abreviatures.

A continuació s'exposarà un llistat amb totes les abreviatures ordenades per ordre estrictament alfabètic.

CAD : Computer Aid Design	KBA: Kraftfahrt-Bundesamt (KBA)-
CAE : Computer Aid Engineering	Federal Motor Transport Authority
CAM: Computer Aid Manufacturing	Max: Màxim
CFRP: Carbon Fiber Reinforced Polymer	Mín: Mínim
CL: Center Lock	PDC: Pitch Diameter Circle
EPS: Poliestirè expandit	Tol: Tolerància
ET: Einpress Tiefe	TÜV: Technischer Überwachungs-Verein
ETRTO: European Tyre and Rim	UD: Unidireccional
Technical Organisation	UNE: Una Norma Española
FEA: Finite element analysis	UV: Ultra Violats
JWL: Japan Light Alloy Wheels	Val: Valor



5.2.1 Simbologia

$|\overrightarrow{F_{impact_{llanta}}}|$ = Mòdul de la força d'impacte de la massa amb la llanta [N]

$|\overrightarrow{F_{impacte}}|$ = Mòdul de la força d'impacte de la massa amb el conjunt roda [N]

Γ_{rosca} = Parell de collat de la femella [N·m].

E_{cf} = Energia cinètica en l'instant final [J]

E_{pi} = Energia potencial en l'instant inicial [J]

F_p = Càrrega que ha de suportar el pneumàtic [N]

F_v = Càrrega màxima de la roda [N]

M_{bmax} = Moment màxim de deformació aplicat a la zona de collat de la roda [N·m]

P_o = Pressió d'inflat del pneumàtic [N/mm²]

\vec{a} = Vector acceleració [m/s²]

r_{dyn} = Radi dinàmic del pneumàtic més gran recomanat per la llanda [m]

r_{minr} = Radi mínim de les plaques d'alumini respecte l'eix de rotació.[m]

$v_{impacte}$ = Velocitat d'impacte de la massa amb el conjunt roda [m/s]

μ_{Al} = Coeficient de fregament d'Alumini-Alumini

$\Delta E_{mi \rightarrow f}$ = Variació d'energia mecànica entre un instant inicial i final [J]

h = Alçada de la caiguda lliure de la massa [m]

D = Valor de la càrrega [kg]

N = Força normal aplicada al conjunt de les plaques amb direcció axial.[N]

S = Coeficient de seguretat.

d = Offset de la llanta [m]

g = Acceleració deguda a la gravetat [m/s²]

r = Radi del cercle de la superfície de contacte entre el paviment i el pneumàtic [mm]

μ = Coeficient de fricció Asfalt-Pneumàtic.



6.Requisits del model.

A l'hora de realitzar el disseny conceptual de la llanta aquesta ha de complir els criteris estandarditzats de dimensionament descrits en la memòria , però també ha de complir els requeriments tècnics segons una sèrie de tests i assaigs descrits en el plec de condicions del projecte.

Convé ressaltar doncs que la principal certificació d'homologació de llandes en àmbit europeu és la UN/ECE 124, aquesta però és la certificació de seguretat per rodes fetes amb qualsevol mena d'aliatges.

Degut a la manca de normativa actual sobre les llantes fetes mitjançant altres processos i materials, com és el cas particular de llantes realitzades de fibra de carboni. Es decideix procedir amb els requeriments mecànics de les llantes fetes de manera convencional mitjançant forja o fosa d'aliatges, amb especial cura que el patró emprat presentarà propietats isotròpiques i per tant es considera el material amb un comportament homogeni als esforços mecànics, veure apartat 3.3 de la memòria.

Actualment pocs són els fabricants de llantes els quals treballin realitzant llantes fetes íntegrament de fibra de carboni, i només el fabricant *ESECARBON*© [13], esmenta que les seves llantes compleixen o superen els requisits imposats per la SAE (societat americana d'enginyers) per les llantes d'alumini, així com que estan treballant conjuntament per implementar una nova certificació per llantes fabricades en aquest material.

Per tant es procedirà a enumerar els requisits necessaris a superar per tal de considerar si el model supera o no l'etapa de disseny.

**6.1 Requisits dimensionals**

Els requisits dimensionals són els següents:

- La llanta ha de poder-se muntar en el BMW M2 F87 sense sobre sortir del pas de roda.
- La llanta ha de complir la normativa establerta per la ETRTO.
- S'hi ha de poder muntar un pneumàtic 245/35ZR19 93Y
- La llanta ha de poder albergar un equip de frens amb discs Ø396mm.
- S'ha de complir que la llanta sigui concèntrica de l'eix almenys amb una tolerància de $\pm 0,5$ mm.

6.2 Requisits de disseny

Pel que fa als requisits relacionats amb el disseny s'enumeren els següents.

- El pes final del conjunt ha de ser menor a 9 kg.
- L'estructura interna de la llanta ha d'estar buida.
- La llanta ha de poder aguantar l'efecte dels raigs ultraviolats.
- Ha de poder resistir la corrosió de les carreteres a l'hivern.
- No pot haver-hi cap mena de geometria que sobresurti de la llanta.
- S'ha d'evitar els cantells vius amb un arrodoniment mínim de 4 mm.
- Suportar més de 200°C .
- Ajudar a evacuar la calor generada per l'equip de frens.

6.3 Requisits mecànics

Finalment els requisits mecànics que ha de poder suportar la llanta són:

- La llanta ha de poder suportar l'aplicació d'un moment d'almenys 1000 N·m en el seu eix sense que aquesta presenti cap esquerda.
- La llanta ha de poder aguantar almenys un pes de 1100 kg en el seu sentit radial, sense que això afecti la integritat d'aquesta.
- El conjunt roda ha de poder suportar un impacte provocat amb una vorera sense que aquesta s'esquerdi ni el pneumàtic perdi aire.



7. Anàlisis de solucions

7.1 Característiques dimensionals

Les dimensions principals de la llanta vindran determinades segons el model de vehicle en què aquestes aniran muntades, així doncs per tal de realitzar la simulació i els càlculs s'ha escollit una mesura de llanta que empren vehicles d'altres prestacions com pot ser el BMW M2 F87 [14] així doncs la mesura escollida és:

9Jx19EH2+ ET29

Esmentar però a causa de l'ús d'un software CAD paramètric els paràmetres dimensionals poden variar al gust del client segons la mesura sol·licitada. Cal remarcar que gràcies a les restriccions de disseny solament s'utilitzarà el perfil del tipus EH2+.

Pel que fa a la fixació de la llanta s'ha decidit emprar el sistema center-lock com s'explica en l'apartat 7.2, ja que facilitarà el càlcul FEA (*"finite element analysis"*).

Pel que fa a l'aspecte estètic s'ha decidit realitzar una llanta esportiva d'estil clàssic és a dir sense cap geometria complexa, ja que aquesta pot dificultar l'estudi FEA, així com dificultar també l'apartat de creació del model 3D. Cal esmentar que s'ha seguit com a exemple una llanta real, per tal de comprendre les possibles millores que pot aportar realitzant-la d'un material compost com és la fibra de carboni.

7.2 Característiques de disseny

Com ja s'ha esmentat en l'apartat anterior la llanta doncs presentarà un perfil del tipus EH2+ altrament conegut com doble ressalt arrodonit estès, el qual ve recollit segons l'apartat 7.2.3 de la norma UNE 69026 [15]. En la figura 1.7.1 es pot veure els seus trets més característics, tots els paràmetres no numèrics varien segons la mesura escollida de llanta i van recollits a la taula 1 de la norma UNE.

Recordar doncs que la mesura escollida és:

9Jx19EH2+ ET29

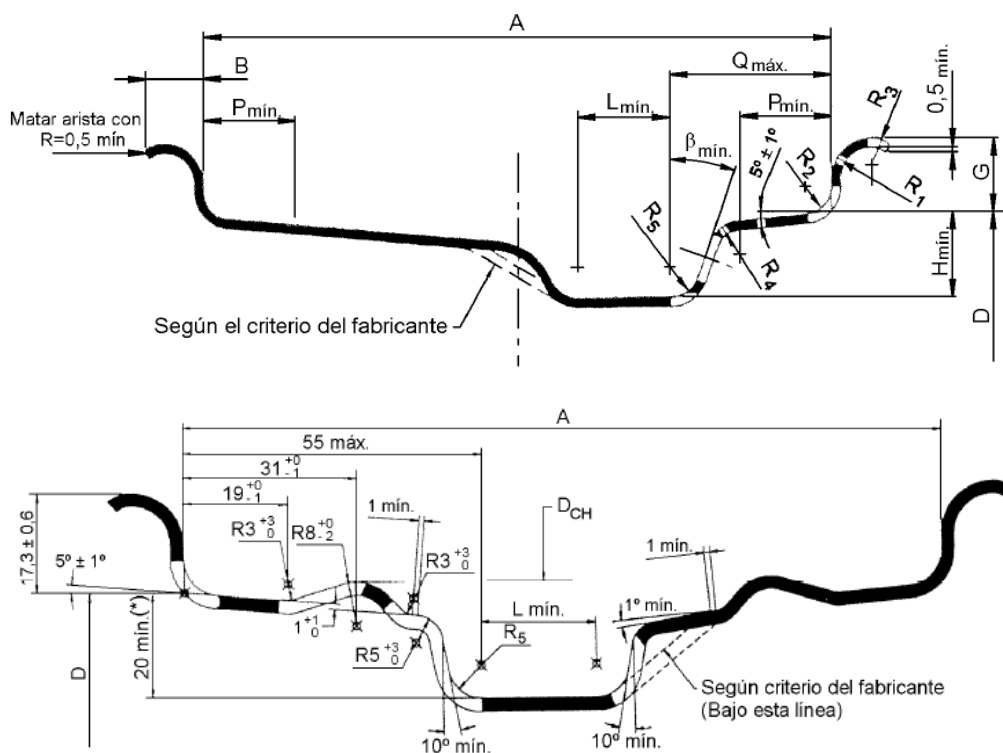


Figura 1.7.1 Paràmetres característics del perfil de roda (figura superior) i paràmetres característics del doble ressalt estès (figura inferior), figura extreta de la norma UNE 69026

Així doncs de la mesura escollida en deriva la següent taula amb els paràmetres característics necessaris per complir la norma UNE.

Taula 1.7.1 Paràmetres característics resultants de la mesura escollida per realitzar el model, dades extretes de la norma UNE 69026.

Codi d'amplada	Mesures (mm)												
	A		B		D	G	P	H	L	Q	R ₁	R ₂	β
	Val	Tol.	mín	máx	Val	±0,6	mín	mín	mín	máx	mín	máx	mín
9J	228,5	±1,5	11	15	487,4	17,3	19,5	17,3	22	45	9,5	6,5	20°

Disseny i estudi preliminar d'homologació d'una llanta CFRP Alan Moncho Aracil

Esmentar doncs que es disposa d'una llibertat molt limitada a l'hora de dissenyar el perfil de roda tal com es pot observar. Tanmateix els valors finalment emprats es poden consultar en els plànols d'aquest projecte. També cal recordar que la mateixa norma UNE especifica les dimensions de l'orifici de la vàlvula per tal d'introduir aire al pneumàtic un cop muntat el conjunt roda.

Un cop definit el perfil de llanda, marcat segons la normativa establerta, s'inicia el disseny de la part del cub, la qual sí té total llibertat de disseny sempre i quan es respecti l'espai per l'equip de frens del vehicle i d'aquest no sobresurti cap element que pugui provocar un accident quan la llanta està muntada al vehicle i aquest circuli. Així doncs abans d'iniciar el modelatge 3D de la llanda es procedirà a realitzar un petit esbós el qual ajudarà a seguir el procés per tal d'aconseguir el disseny estètic desitjat. Tal com s'observa en la figura 1.7.2, el disseny de la llanda presenta una estructura de 7 radis, aquest disseny es

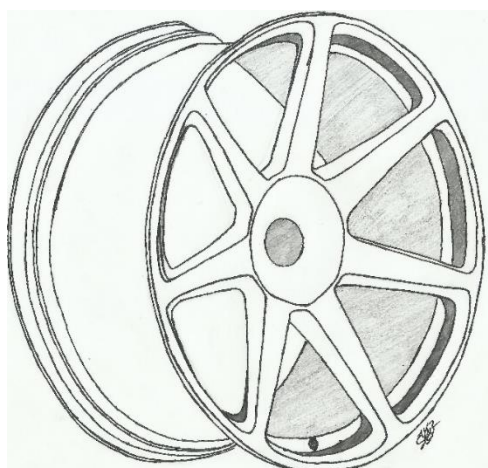


Figura 1.7.2 Esbòs a mà alçada per la realització posterior d'un model 3D amb software CAD.



Figura 1.7.3 Llanda en que s'ha inspirat el disseny principal. Model RS208M, imatge extreta de la pàgina web del fabricant HRE.

considera que és bastant atractiu, amb una geometria bastant simple però efectiva afavorint la dissipació de calor de l'equip de frens del vehicle. Tanmateix aquesta llanta ha estat inspirada en el model RS208M de la casa nord-americana “*HRE performance wheels*”, (veure figura 1.7.3) la llanta que ells fabriquen està feta d'alumini aeroespacial 6061-T6 forjada.[16] S'ha decidit intentar realitzar un model molt semblant per veure quina és la possible reducció de pes que es pot assolir en cas de fer-la de fibra de carboni. La llanta esmentada d'alumini es fabrica amb un sistema de cargols convencionals i el seu preu individual és 1.800\$ en l'acabat bàsic.

Cal esmentar que el pes de la llanta HRE és de 11,10 kg i per tant es té l'objectiu principal de disminuir el pes final de la llanta i poder valorar la disminució final del pes.

7.2.1 Opcions d'ancoratge a la caixa

- Sistema amb PDC 5x120

Pel que fa al disseny de la part d'ancoratge hi ha dues opcions, la primera és la de fer la llanta amb un ancoratge amb un PDC 5x120 tal com munta de sèrie el vehicle de referència escollit, el BMW M2. La llanta queda subjectada mitjançant 5 cargols de M14x1,25 quedant un centre de llanta tal com s'aprecia en la imatge 1.7.4. Però al tractar-se d'una llanta de 7 braços això provocaria que els cargols no quedessin alineats amb la resta de braços de la llanta fent que els esforços de compressió i tracció no fossin uniformes, complicant l'estudi FEA. Cal dir també que aquesta opció dificulta el procés de buidatge del centre de la llanta sent inviable la seva posterior fabricació degut a l'alta complexitat del model.



Figura 1.7.4 A dalt: Llanta amb el sistema PDC 5x120. A baix Detall del centre de llanta amb els 5 orificis per allotjar els cargols.

- Sistema “Center Lock” o “Center Nut”

Per tal d'evitar el conflicte que pot suposar el buidatge de la llanta s'ha triat l'opció de realitzar el sistema C.L “Center Lock” en la llanta, aquest sistema doncs consta simplement d'una femella que colla la llanta amb la caixa del eix de l'automòbil.

D'aquest fet rauen 3 principals avantatges:

- A l'hora de realitzar el model CAD es simplifica molt el procés i per tant els esforços queden repartits equitativament de forma radial, podent efectuar un càlcul amb simetria radial.

- El buidatge senzill del centre de llanta possibilita la incorporació d'una escuma o "foam" de PVC per tal de realitzar l'esmentat buidatge en el procés de fabricació de l'element
- L'extracció de la llanta del vehicle es fa solament descollant un únic element facilitant així la maniobra, podent realitzar-la amb menor temps. Motiu que les llantes emprades en el món de la competició disposen d'aquest sistema.

Per contra el sistema C.L també presenta una sèrie d'inconvenients.

- Sistema no integrat per tots els fabricants d'automòbil, fent la necessitat d'un kit de conversió.
- El parell necessari per assegurar la llanda a la caixa en resulta molt superior, respecte a les llantes convencionals, ja que els parells dels cargols solen anar entre 100 i 120 N·m mentre que fabricants com Porsche recomanen un parell de 500 a 600 N·m per les seves llantes amb sistema C.L, fet que implica emprar dinamomètriques especials per tal que l'operari arribi aquest parell.

Tot i aquests inconvenients s'ha decidit que els avantatges aportats en el sistema CAD-CAE són determinants per aquest projecte i per tant s'ha optat pel sistema Center-lock, tal com es mostra a continuació.



Figura 1.7.5 Vista amb perspectiva del model 3D amb sistema C.L.



Figura 1.7.6 Vista de la part posterior del model 3D realitzat amb CREO paramètric en que s'observa el rebaix practicat en la zona central de la llanta..

Existeix el problema que la fibra de carboni no permet assegurar un correcte assentament amb la superfície de la caixa del vehicle, i s'ha decidit de realitzar un rebaix en la zona de 5 mm (veure figura 1.7.7) així com també fer-ho en la part davantera d'assentament de la femella, gràcies a aquest rebaix es col·locaran dues plaques d'alumini mecanitzades que aniran encolades amb cola estructural amb la llanta de manera que asseguraran una correcta superfície de contacte entre la femella i la llanta en la part davantera i en el cas posterior assegurarà un offset correcte de la llanta i la caixa assegurant així una càrrega homogènia del parell de la femella central i evitant possibles esquerdes si es superés el parell de muntatge de la femella. Gràcies amb aquesta solució també s'obté un orifici central amb la cota controlada, ja que aquestes plaques al ser mecanitzades es pot assolir un millor control de la cota.

Així doncs per procedir a l'hora de realitzar la fabricació, primerament es realitzaran les plaques d'alumini, el qual s'ha decidit realitzar-les de l'aliatge 6061-T6 i incorporar-les al motlle negatiu de la llanta. Un cop incorporades es procedirà a la col·locació de l'entramat de malles unidireccionals tenint especial cura amb la superposició d'aquestes complint l'angulació explicada en la memòria del projecte i plec de condicions, un cop realitzades les dues parts per separat, cara posterior i davantera, col·locarem el

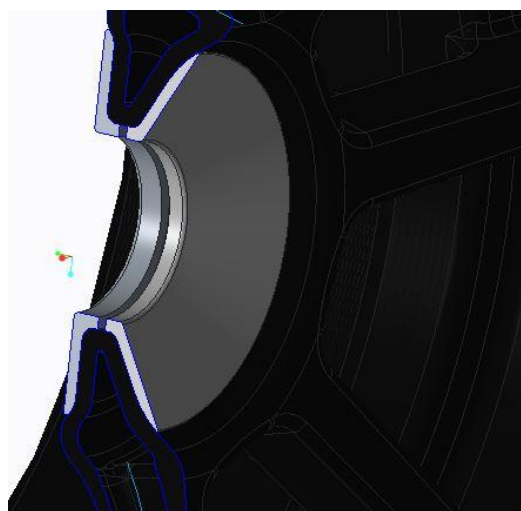


Figura 1.7.7 Detall del model 3D amb la col·locació de les plaques de muntatge.

motlle central per tal d'assegurar el buit entre radis, finalment ajuntarem les dues meitats de la llanta i es procedirà a realitzar la unió dels dos elements, per procedir al cicle de curat especificat en la fulla tècnica del material adjuntada a l'annex del projecte.



7.3 Característiques dels materials del projecte

7.3.1 Fibra de carboni

En aquest projecte s'ha realitzat l'elecció del material segons les indicacions del fabricant ja que, la marca **Hexcel** proporciona un gran catàleg de materials compostos. Tanmateix empreses claus en el sector de l'automoció com BMW-M, Renault, Lamborghini confien amb aquest subministrador i en els seus serveis.

El Prepreg finalment escollit és l' HexPly ® M81 que consisteix en una matriu de tipus epòxid d'altres prestacions. Aquest material està recomanat per l'ús industrial en el sector de l'automoció, emprant tecnologia de l'indústria aeroespacial. Cal esmentar però que aquesta matriu té diferents tipus de malla a escollir però les propietats que ens interessin són les referents a la trama del tipus UD ja que, emprem la tecnologia NC2 anteriorment explicada. Així doncs en l'annex 9.1.1 d'aquest projecte es pot trobar la fitxa tècnica del material amb totes les seves propietats. Cal esmentar que el material és el M81/38%/UD150/CHS.

No obstant s'exposa un petit resum de propietats principals d'aquest material en la taula 1.7.3,(per més informació consultar annex 9.1.1.)

Taula 1.7.3 Propietats més rellevants del material M81/38%/UD150/CHS per més informació veure annex 9.1.1

Tg (Temperatura de transició vitrea)	200°C	Tipologia de Fibra	HS Carbon 30K UD 150	Tensió màxima	2500 MPa
Densitat de la Resina	1,30 g/cm ³	Gruix nominal amb capa curada	0,15 mm	Mòdul de Young	150 GPa
Temperatura per curat	135°C	Densitat nominal un cop sec	1,57 g/cm ³	Compressió màxima	1580 MPa
Temps de curat	2h	Massa de la malla	150 g/m ²	Flexió màxima	1700 MPa



7.3.2 Materials i tractaments addicionals

7.3.2.1 Protecció contra els raigs UV.

Un dels principals problemes que presenta la seva degradació davant dels raigs ultraviolats ja que, provoquen un envelliment prematur de la resina, ja que exposicions prolongades a la llum solar poden causar que la matriu s'endureixi i es decolori. L'efecte dels UV però solament afecta la capa més superficial del material i per tant materials amb gruixos superiors amb aquesta capa superficial els efectes de degradació són mínims.

Tot i tenir un gruix suficient per no suposar cap mena d'efecte negatiu en la llanta, sí s'aplicarà un recobriment que actuï com a capa protectora, ja que la llanta també ha de complir certs requeriments estètics.

Aquesta capa actua com a protecció per prevenir que la capa superficial de CFRP estigui exposada als UV, en el mercat existeixen bastantes que han sigut desenvolupades per complir satisfactòriament aquesta demanda, la laca triada doncs és usada en els manuals de reparació de fabricants en el món de l'automoció com Mercedes-Benz. Es constata que laca, a part necessita un catalitzador i un enduridor.[22][23] (veure annexes 9.1.2 i 9.1.3).

- Glasurit® Laca HS Racing Clear VOC 923-135
- Glasurit® Endurecedor 929-31, -33
- Glasurit® Aditivo Racing 523-15

S'especificarà el procés de preparació de la peça ja que, així es creu convenient és el següent:

1. Netejar la peça amb un dissolvent com el 541-30 de la casa Glasurit
2. Eixugar bé la peça
3. Llimar bé la peça amb una esponja vermella amb l'agent netejador 541-30.
4. Netejar la peça amb l'agent Glasurit 700-10 per eliminar possibles residus
5. Eixugar bé la peça

L'aplicació del producte ja està especificat en les fitxes tècniques facilitades en l'annex 9.1.2 i 9.1.3.

*7.3.2.2 Protecció contra la temperatura i corrosió.*

Tot i que les rodes no són elements sotmesos a càrregues tèrmiques elevades, sí que s'ha de considerar la calor que desprèn l'equip de frens per convecció i radiació ja que, aquest pot arribar a temperatures fins a 600°C, esmentar però que aquesta temperatura no és la temperatura en què està sotmesa la llanta ja que, quant s'arriba aquestes temperatures el vehicle està circulant a altes velocitats i també existeix un efecte de convecció forçada de l'element, i gràcies al disseny de la llanta s'elimina de manera molt efectiva aquesta calor, no obstant es recomana l'aplicació d'algun protector per la fibra de carboni ja que aquesta presenta una temperatura de transició vítria de 200°C i caldrà protegir-la d'aquest efecte, tanmateix també cal protegir la fibra de carboni d'elements exteriors, ja que a l'hivern en les carreteres per tal que no es formin capes de gel s'aplica sal, amb la repercussió negativa que la barreja de la sal i l'aigua creen un dels agents més corrosius possibles.

Així doncs dins de tots els tractaments possibles es creu convenient l'aplicació d'una capa ceràmica transparent que protegeixi d'aquests factors externs.

L'agent protector triat doncs és el:

- MC-156 - High Gloss Ceramic Clear de la casa Cerakote® Ceramic Clear Coatings.

Aquest producte assegura un acabat transparent així com una protecció contra la corrosió provocada per l'oxidació (aigua amb sal). Recalcar que ofereix una protecció envers la temperatura de 1100 °F és a dir aproximadament de 593°C [24], complint així el requeriment de la protecció contra la temperatura amb un gran marge de seguretat.

El procediment d'aplicació i les característiques tècniques del producte es poden trobar a l'annex 9.1.4 d'aquest projecte.



7.3.2.3 Pega estructural d'unió entre plaques i llanta.

Tal i com s'esmenta en l'apartat 7.2 la llanda dissenyada és compatible amb el sistema "C.L" per tal de produir aquest fet i no sotmetre la fibra de carboni a esforços innecessaris, s'ha optat per la col·locació d'unes plaques d'alumini que repartiran aquests esforços. La implementació d'aquestes plaques doncs comporten que estiguin fixades a la llanda. Per tal de satisfer aquesta necessitat s'ha triat una cola estructural capaç de resistir altes temperatures sense perdre les seves capacitats, així doncs la cola estructural triada és del mateix fabricant que subministra el Prepreg, és a dir Hexcel®. El model més en concret és el següent:

- HexBond™ EA9351MB STRUCTIL

Es tracta d'una cola estructural d'un sol component epòxid/bismaleimida ideal per estructures del tipus sandvitx com es el cas d'aquesta llanta, tanmateix el rang de temperatures de funcionament és de -55°C fins a 210°C, recordar però que l'element anirà protegit amb la capa de protecció ceràmica MC-156. Per més informació consultar l'annex 9.1.5.

7.3.2.4 Foam no estructural per la realització del buidatge

Degut a la geometria de la llanta s'haurà d'emprar un motlle interior per tal d'assegurar el buidatge i geometria interna de la llanta. En primera instància s'ha analitzat realitzar el nucli amb un material com pot ser l'EPS però es va desestimar degut al fet que al contacte amb temperatura del cicle de curat de la resina epòxid aquest material es podria malmetre.

Així doncs s'ha procedit a triar un altre material més adient i indicat, utilitzat en la indústria dels compòsits estructurals com a nucli, el PVC foam pot presentar densitats molt baixes ja que, poden estar compostos fins a un 95% d'aire, contribuint amb gran manera a mantenir baix el pes de la llanda. Esmentar que el material ha de poder suportar els 135°C necessaris per suportar la temperatura de curat del Prepreg.

Així doncs el material escollit compleix els requisits esmentats i presenta una densitat de 60kg/m³, sent ideal per aquest projecte.[25] (per més informació veure annex 9.1.6)

- Core Lite®PVC HT60

8.Resultats finals

8.1 Disseny final

El resultat doncs pel que fa a l'apartat de disseny de la llanta, ha seguit les premisses explicades en el capítol 7, anàlisi de solucions d'aquest projecte en què es recorda que s'han triat les següents opcions que determinaven el disseny:

- Emprar un sistema C.L de fixació de la llanta amb la caixa.
- Obtenir una llanta similar al model inspirat per tal de comprovar la millora de propietats.
- Obtenir un model que compleixi les normes UNE relatives al dimensionament de llantes per a vehicles destinades a transport de passatgers.
- Obtenir un model amb la mesura homologada 9Jx19EH2+ ET29.

Així doncs en les figures 1.8.1.1 i 1.8.1.2 s'observa la vista frontal i posterior de la llanta, en aquest model s'aprecia els detalls, així com ajuda a comprendre la geometria general de la llanta. El disseny amb 7 radis ajudarà de manera molt efectiva a la ventilació de l'equip de fre, ja que no s'obstaculitza el pas d'aire cap a l'exterior.



Figura 1.8.1.1 Vista frontal del model realitzat amb el software paramètric PTC Creo.



Figura 1.8.1.2 Vista posterior del model en que s'aprecia l'àrea d'assentament de les plaques realitzades amb alumini, per un correcte assentament de la llanta.

Disseny i estudi preliminar d'homologació d'una llanta CFRP Alan Moncho Aracil

Pel que fa al perfil, aquest compleix com ja s'ha esmentat la norma UNE 69026 concretament és un model amb la mesura EH2+ és a dir doble ressalt estès. Aquest fet s'evidencia sobretot en la figura 1.8.1.3, ja que es pot observar clarament els dos ressalts en el perfil de la llanda. Com també s'aprecia la profunditat de la gola no és molt exagerada ja que, això pot influir negativament al repartiment d'esforços i per tant s'ha intentat que no sigui molt acusada.

En la figura 1.8.1.4 s'observa una secció de la llanta on s'hi ha col·locat les plaques d'alumini que ajudaran a obtenir un correcte assentament de la femella amb la llanta així com col·laborar amb un assentament correcte de la llanta amb la unió amb la caixa.

A part es pot visualitzar el buidatge realitzat als radis i nucli (amb blau), i la seva trajectòria.



Figura 1.8.1.3 Vista de perfil de la llanta, que correspon a una llanta 9Jx19EH2+ ET29.

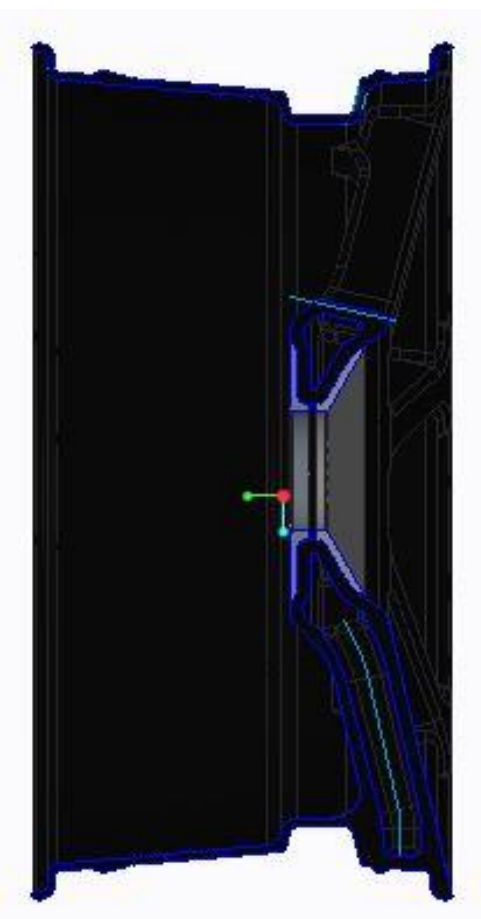


Figura 1.8.1.4 Secció de la vista de la llanta de perfil en que s'aprecia el buidatge dels radis i nucli de la mateixa.

Disseny i estudi preliminar d'homologació d'una llanta CFRP Alan Moncho Aracil

Finalment per tal de veure l'acabat final del producte s'ha realitzat un petit renderitzat del conjunt llanta. S'ha decidit finalment optar per un acabat a fibra vista perquè es creu que és més atractiu, visualment parlant, fent notar el material del qual està fet la llanta. Tanmateix però és possible pintar la llanta o incús aplicar un colorant a la resina per tal que aquesta adquireixi una tonalitat diferent.



Figura 1.8.1.5 Vista frontal renderitzada del conjunt llanta .

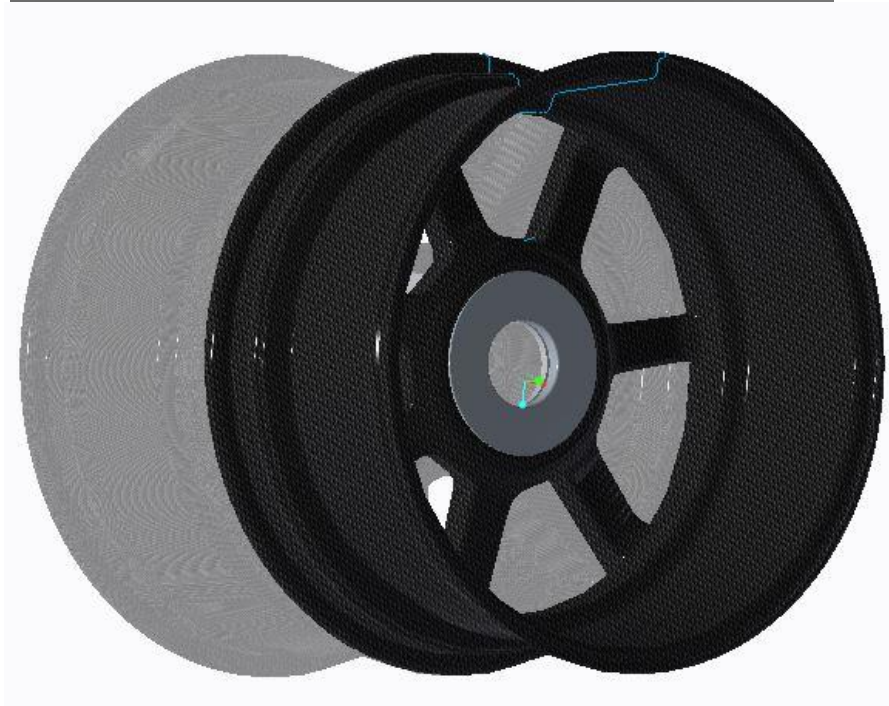


Figura 1.8.1.6 Vista posterior renderitzada del conjunt llanta



8.2 Resultat de la simulació dels assaigs

Abans d'exposar els resultats de l'anàlisi d'elements finits es creu convenient esmentar que el criteri d'avaluació dels resultats serà el següent:

- Totes les deformacions estaran expressades amb mil·límetres, en cas que no s'indiqui el contrari.
- El criteri de tensions equivalents de la llanta utilitzat, és el de Von Misses, en què expressa que l'estat límit en un punt en concret d'un cos, en què existeix un estat tensional, quan en aquest l'energia de distorsió per unitat de volum és igual a l'energia de distorsió absorbida, llavors el material obté la tensió límit en l'assaig a tracció.[17]. S'ha emprat aquest criteri degut al fet que és l'emprat en els assaigs dels materials i per tant el que més s'aproxima als valors obtinguts en les proves dels materials.

8.2.1 Test de deformació per torsió descrit en l'Annex 6 de la norma UN/ECE 124

Tal com especifica l'Annex 6 de la norma UN/ECE 124 es procedirà a realitzar un anàlisis FEA del assaig anomenat "rotating bending test". En plec de condicions d'aquest projecte s'hi pot trobar una explicació i càlculs preliminars per la realització del estudi d'elements finits. (veure apartat 3.1.1 del document II)

Esmentar però que cal tenir en compte dues consideracions de gran importància.

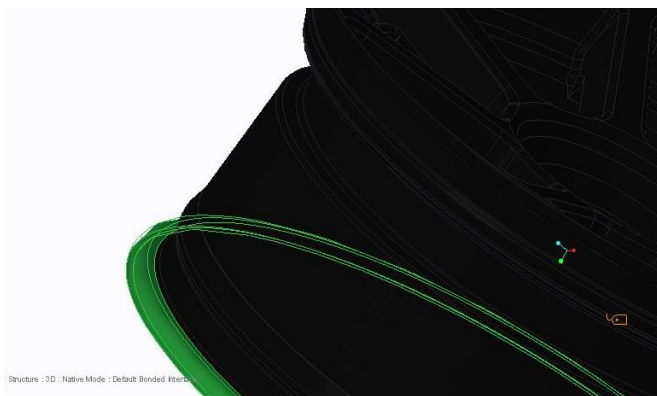
- L'estudi FEA NO substitueix l'assaig realitzat en laboratori, ja que les consideracions de propietats mecàniques realitzades en aquest projecte poden ser NO certes i per tant s'ha de validar tot el procés de fabricació i les propietats mecàniques de la llanta.
- En aquest cas específic, l'assaig és un tipus d'assaig per fatiga de materials i per tant, degut a la gran complexitat que en resulta i a més a més incrementant la complexitat amb l'ús de materials compostos, no es pot realitzar la simulació per fatiga, així doncs s'estudiarà un cas puntual estàtic i s'observarà les tensions

màximes en el cas en particular donant per bons resultats amb un gran coeficient de seguretat respecte a les tensions màximes suportades pel material emprat.

Un cop esmentats aquests aspectes es procedeix a realitzar les simulacions de les forces que actuen en la llanta. Ja que es creu convenient fer l'incís gràcies al fet que una manca de directrius a l'hora d'aplicar les condicions de l'assaig i identificació de forces poden fer que els resultats siguin erronis i per tant no vàlids.

Tal com es veu en la figura 1.8.2.1 es pot observar com s'ha aplicat la restricció de moviment que subjectarà la llanta al banc de treball impossibilitant qualsevol mena de moviment de la mateixa (veure apartat 3.1.1 del document II) .

Figura 1.8.2.1(A la dreta) Selecció de la superfície en que s'aplica la restricció de moviment de la llanta en l'assaig descrit en l'annex 6 de la norma UN/ECE 124



Un cop aplicat la restricció de moviment s'aplicarà el moment M_{bmax} , aquest en l'assaig hauria de ser reduït en un 50% en cas de realitzar-se $1,8 \cdot 10^6$ cicles i reduït en un 25% si s'efectuessin $2 \cdot 10^5$ cicles.

Tanmateix com ja s'ha esmentat no és possible realitzar un estudi a fatiga i per tant s'aplicarà el moment màxim equivalent a:

$$M_{bmax} = 1.354,05 \text{ N} \cdot \text{m} .$$

Aquest moment estarà aplicat a la superfície en contacte de les plaques de fixació d'alumini descrites en els apartats 7.2.1 i 8.1 de la memòria.

Finalment les plaques d'alumini causaran una pressió en la superfície degut al parell de collament de la femella que subjectarà la llanta amb l'eix.

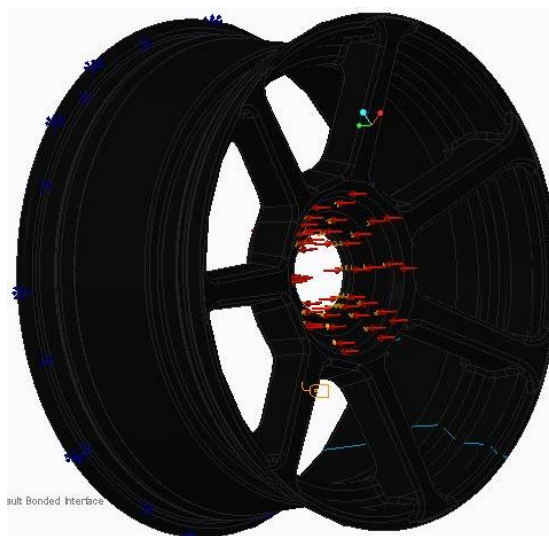


Figura 1.8.2.2 Aplicació de totes les forces en el model per realitzar l'estudi FEA

La determinació d'aquesta força ve determinada en l'expressió 1.8.0

$$\Gamma_{rosca} = r_{minr} \cdot N \cdot \mu_{Al}$$

Equació 1.8.0

On:

Γ_{rosca} = Parell de collat de la femella, en el cas estudiat 550 N·m.

r_{minr} = Radi mínim de les plaques d'alumini respecte l'eix de rotació s'ha triat el mínim per ser més restrictiu.

μ_{Al} = Coeficient de fregament d'Alumini-Alumini equivalent a 1,05

N = Força normal aplicada al conjunt de les plaques amb direcció axial.

Llavors realitzant els càlculs s'obté que:

$$N = 14.430,014 \text{ N}$$

Un cop aplicats el conjunt de condicions per tal de reproduir l'assaig es procedeix a realitzar l'estudi FEA estàtic amb el mòdul Simulate del programa PTC Creo.

Els resultats obtinguts doncs són els següents:

Pel que fa a l'apartat de deformacions, tal com podem veure en la figura 1.8.2.3, el desplaçament màxim de la llanta de 0,0174 mm i per tant es considera un resultat satisfactori ja que, és una deformació ínfima, tenint en compte que s'ha aplicat el 100% de la càrrega.

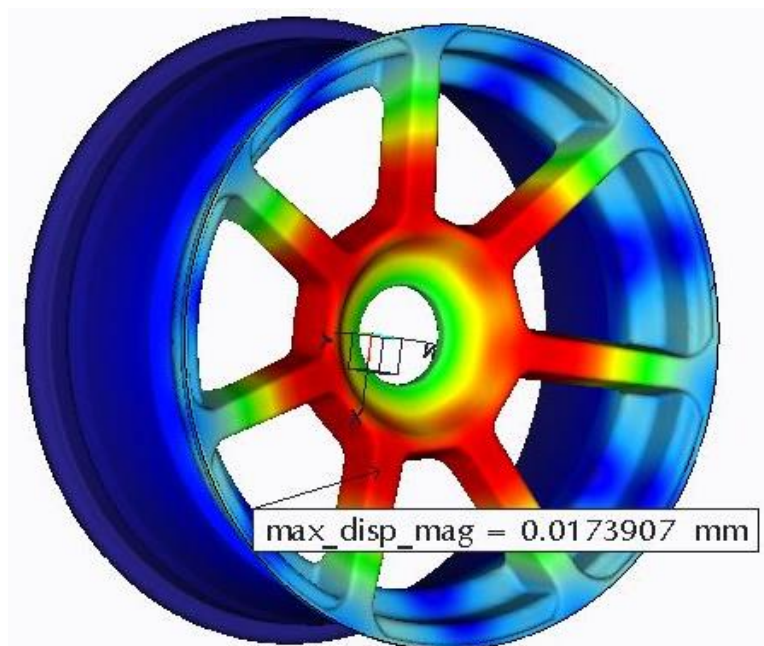


Figura 1.8.2.3 Resultat de deformacions del anàlisi FEA referent al test de deformació per torsió.

Finalment les tensions produïdes en l'assaig són les representades en la figura 1.8.2.4 en què es pot veure el repartiment de tensions de la llanta segons el criteri de Von Mises. El valor màxim doncs és de 46,17 MPa, Tenint en compte que la tensió màxima suportada del material és de l'ordre de 2500MPa, es dona per superada la prova satisfactòriament, esmentar doncs que per aquest assaig la llanta supera amb escreix els requeriments de la normativa, i per tant s'haurà de produir un re-disseny de la llanta optimitzant el model per tal de poder-la alleugerar sense posar en risc la integritat del model, abaratint d'aquesta manera els costos.

A més constatar que les tensions màximes produïdes es troben en la part interior a resultat de l'aplicació del parell de collada de la roda, i per tant el model no presenta cap mena de dificultat a l'hora d'afrontar l'assaig.

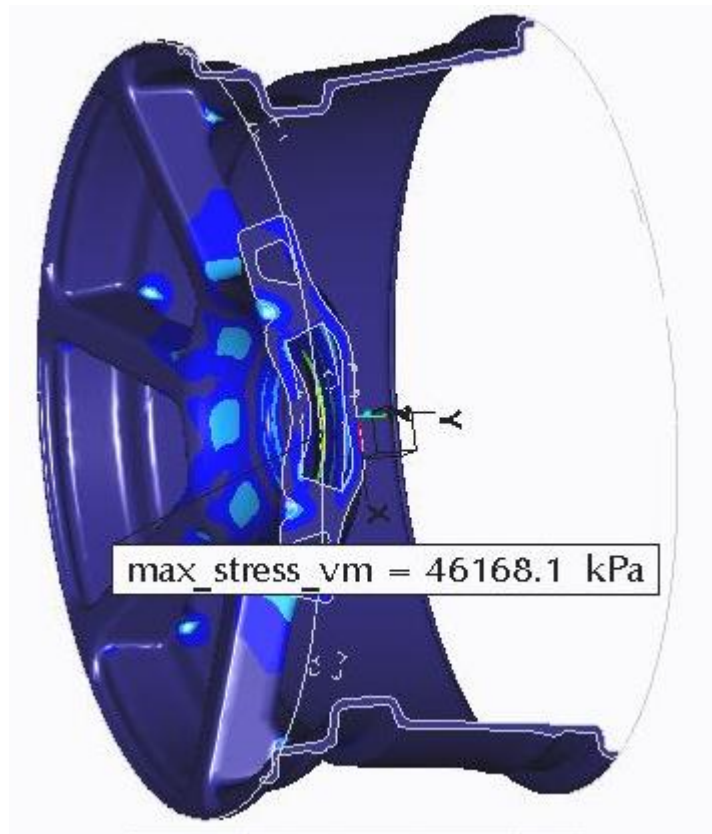


Figura 1.8.2.4 Resultat de les tensions resultants de Von Mises del model.



Disseny i estudi preliminar d'homologació d'una llanta CFRP Alan Moncho Aracil

8.2.2 Test de rotació descrit en l'Annex 7 de la norma UN/ECE 124.

Es procedeix doncs a realitzar la simulació de l'assaig de laboratori descrit en l'annex 7 de la norma UN/ECE 124 anomenat “*Rolling test*”. (veure apartat 3.1.2 del document II del projecte).

Tal com s'ha explicat anteriorment cal recordar la principal premissa per tal d'avaluar l'estudi FEA realitzat ja que:

- L'estudi FEA NO substitueix mai la realització de l'assaig en el laboratori, només és una eina que permet als enginyers per poder fer una validació prèvia abans de realitzar el prototip que SI realitzarà els assaigs.

En el cas específic del “*Rolling test*” es tracta d'un assaig dinàmic que té una durada de 2.000 km que seran coberts amb major o menor temps depenent de la velocitat màxima indicada pel fabricant del pneumàtic, mentre aquest es troba amb la seva càrrega màxima i pressió màxima recomanada pel fabricant del vehicle.

Amb tot, l'estudi per elements finits realitzat correspon a un instant de temps i per tant les càrregues dinàmiques s'han modelitzat en forma estàtica per poder obtenir uns resultats amb el programa PTC Creo Simulate.

Per tal doncs, d'una correcta simulació amb estàtica de les tensions ocasionades en l'assaig i aprofitant la simetria radial de la llanda, ja que al tractar-se d'una llanta de 7 radis, la geometria es repeteix cada 51,5° i per tant els esforços són cíclics, entorn el seu eix de rotació. S'ha procedit a realitzar el càlcul de les tensions-deformacions en 3 situacions diferents. Partint com a 0° qualsevol punt equidistant de les parets d'un radi s'avançarà 17,15° aproximadament, en un sentit el punt de contacte fins a assolir els 34,3°, ja que a partir d'aquell instant els esforços tornen a repetir-se però en el radi següent.

Una altra consideració d'importància és la superfície de contacte entre el terra i el pneumàtic, ja que aquesta s'ha modelitzat amb una primera aproximació que correspon a la fórmula expressada en l'equació 1.8.1.

$$r = \sqrt{\frac{F_p}{P_o \cdot \pi}}$$

Equació 1.8.1

On:

r = Radi del cercle de la superfície de contacte entre el paviment i el pneumàtic [mm]

F_p = Càrrega que ha de suportar el pneumàtic [N]

P_o = Pressió d'inflat del pneumàtic [N/mm²]

Sabent que la càrrega ve determinada per els requisits del assaig en què:

$$F_p = 15.941,25 \text{ [N]}$$

I què la pressió del pneumàtic ens la dóna el fabricant del vehicle escollit per realitzar l'homologació que en aquest cas és de 2,4 bars

Així doncs es té un radi de contacte de 145,4 mm amb una superfície de 66.421,874 mm². Tanmateix doncs sabent que la llanda té un ample de 228,5 mm, caldrà aïllar l'amplada del rectangle que simularà el contacte entre pneumàtic i paviment sent de 290,68 mm.

Un cop doncs trobat aquesta superfície es procedeix a realitzar les constriccions en el model per tal de recrear l'estudi estàtic de l'assaig.

En la figura 1.8.2.5 s'observa com la restricció del moviment de la llanta és respecte a totes les superfícies en contacte amb el sistema "center lock". També s'hi pot apreciar les "Surface region" (marcades en blau), per tal de poder aplicar la pressió produïda per cada cas a mesura que la llanta roda.

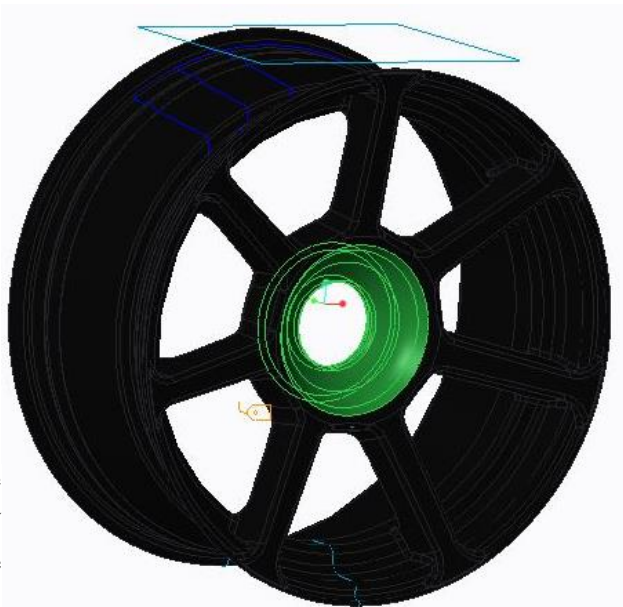
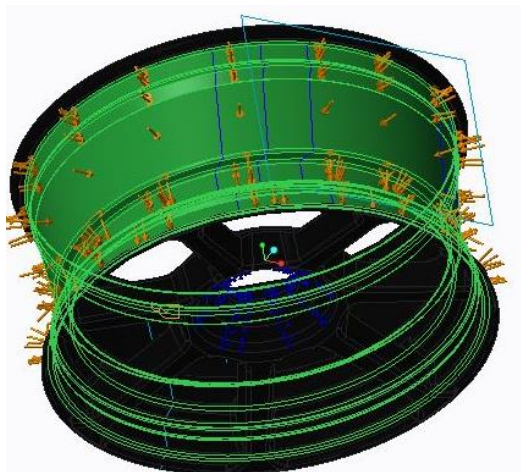


Figura 1.8.2.5 (A la dreta) Selecció de la superfície en que s'aplica la restricció de moviment de la llanta amb verd. Amb blau s'aprecia la delimitació de diferents superfícies recreant la superfície de contacte entre pneumàtic i paviment.

Un cop realitzada la constricció de moviment es procedeix a la incorporació resultant de la pressió d'inflat del pneumàtic establerta pel fabricant en aquest cas específic de 240kPa, tal com es pot observar en la figura 1.8.2.6 mostrada en la pàgina següent.



D'aquesta manera doncs tal com s'aprecia en la figura es té la pressió repartida equitativament entorn de tota la superfície de contacte de l'aire insuflat dins del conjunt pneumàtic-llanda.

Figura 1.8.2.6 (A l'esquerra) Selecció de la superfície en que s'aplica la pressió interna produïda per els 2.4 bars

Finalment doncs s'aplica la resultant produïda per la interacció entre la càrrega aplicada a la roda i la seva reacció, com ja s'ha explicat, s'han realitzat 3 anàlisis amb diferents graus per tal d'esbrinar el desplaçament màxim i la tensió màxima de la geometria de la llanta, en la imatge 1.8.2.7 s'observa la selecció dels diferents trams d'aplicació d'aquesta força.

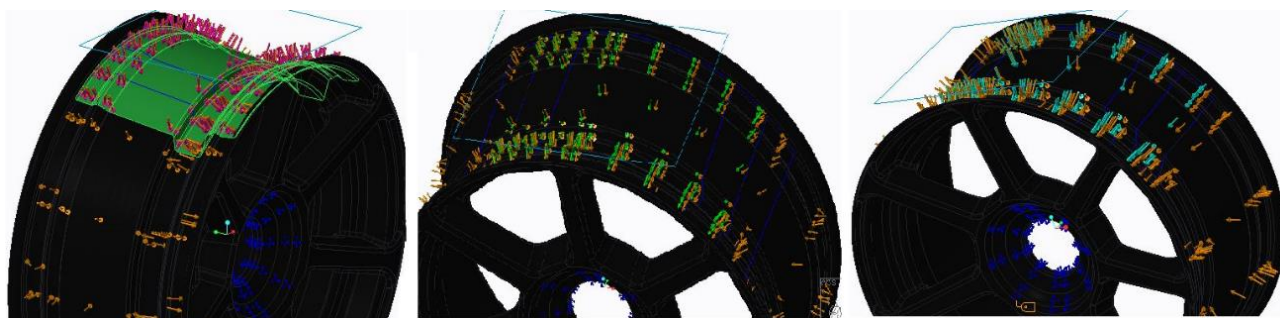


Figura 1.8.7 Selecció de la superfície en que s'aplica la pressió produïda per el contacte del conjunt roda amb el paviment, D'esquerra a dreta 0°-17,15°-34,3° és a dir configuracions A en que la càrrega solament es reparteix amb un únic radi, B en que la càrrega comença a repartir-se a més d'un radi, i configuració C en que la càrrega està repartida equitativament entre radis.

Així doncs es realitzarà els 3 càlculs per elements finits obtenint els resultats mostrats a continuació.

Pel que fa a l'apartat de deformacions màximes de la llanda podem observar en la figura 1.8.2.8 que la configuració A és la més desfavorable. Aquest fet és degut principalment en què la càrrega solament es reparteix en un únic radi quedant la resta amb voladís. També s'aprecia que la zona de màxima deformació correspon al punt més allunyat del llavi posterior de la llanda. Pel que fa a l'ordre de magnituds s'està dins dels criteris raonables ja que, una deformació aproximada de 0,0623 mm dins d'un diàmetre de 487,4 mm, representa una deformació total del cercle de la llanda de solament 0,013% garantint l'estanquitat.

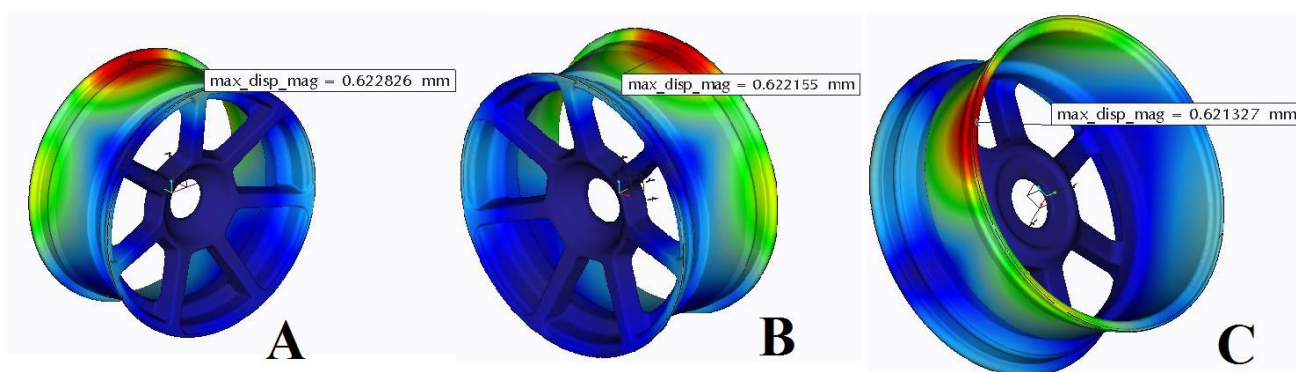


Figura 1.8.2.8 Diferents resultats de deformació màxima de les diferents configuracions d'aplicació de càrrega.

Taula 1.8.2 Resultats de la deformació resultant del anàlisi FEA del assaig descrit en l'annex 7 de la norma

Cas estudiat	Deformació màxima assolida [mm]
A	0,622826
B	0,622155
C	0,621327

Pel cas de les tensions produïdes per les càrregues de l'assaig s'observa una gran concentració de tensions en la zona interior rebaixada per allotjar la placa que realitza la unió del conjunt llanta amb la caixa, d'aquest resultat doncs s'extreu la següent conclusió:

El disseny del rebaix ha de ser revisat i suavitzat per tal de reduir aquesta concentració de tensions en la zona. No obstant el resultat és òptim i el disseny compleix els requeriments establerts.

Aquesta concentració de tensions és més elevada en el cas B arribant a la magnitud de 131,164 MPa, tanmateix però la tensió màxima tant a tracció com a compressió del nostre material dista molt lluny d'aquest valor, i tampoc preocupa el factor de fatiga ja que, el percentatge aplicat no arriba ni al 10% del valor màxim a compressió del material escollit.

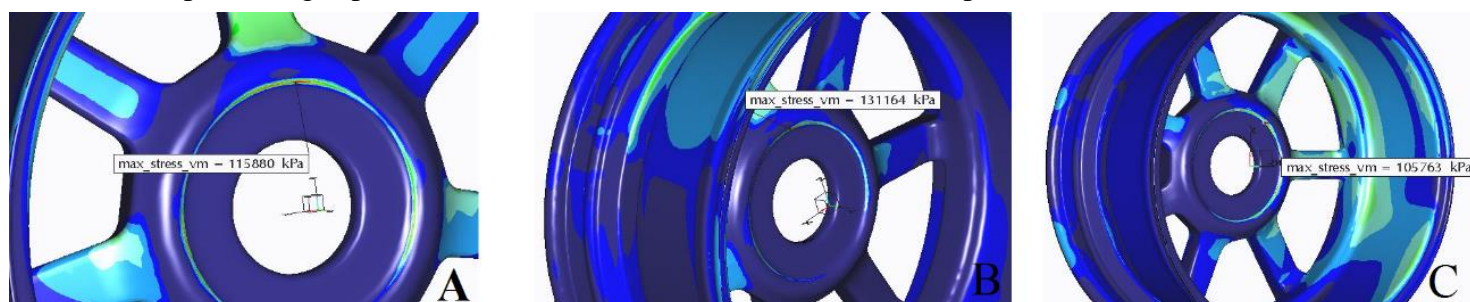


Figura 1.8.2.9 (A) Resultats de les tensions màximes de les diferents configuracions d'aplicació de càrrega produïda en l'assaig en l'annex 7

Taula 1.8.3 (Sota) Resultats de les tensions màximes assolides resultants del anàlisi FEA corresponent al Rolling test

Cas estudiat	Tensió màxima assolida [MPa]
A	115,88 MPa
B	131,164 MPa
C	105,763 MPa



8.2.3 Test d'impacte descrit en l'Annex 8 de la norma UN/ECE 124.

Per tal de reproduir l'assaig descrit en l'annex 8 i apèndix de l'annex 8 de la norma UN/ECE 124 (veure apartat 3.1.3 del plec de condicions), caldrà recordar el principal condicionant de reproducció de l'assaig ja que, al tractar-se d'un assaig destructiu cinemàtic, s'ha modelat únicament l'instant en què les tensions i deformacions són majors i per tant a continuació s'exposaran les consideracions per tal d'obtenir els resultats desitjats. També cal recordar que un estudi FEA és una primera aproximació al resultat que s'obtindrà en l'assaig però mai ha de substituir la realització del test.

Gràcies a l'equació 2.3.3 exposada en el plec de condicions s'obté que la massa que caurà amb caiguda lliure des d'una alçada h és de:

$$D = 570 \text{ kg}$$

Mentre que es coneix que l'alçada h és de 0,23 m.

Gràcies a aquestes dades doncs i aplicant el principi de l'energia mecànica en que:

$$\Delta E_{m_i \rightarrow f} = 0 \rightarrow E_{p_i} = E_{c_f}$$

Equació 1.8.2

I sabent que :

$$\begin{cases} E_{p_i} = D \cdot g \cdot h \\ E_{c_f} = \frac{1}{2} \cdot D \cdot v_{\text{impacte}}^2 \end{cases}$$

Equacions 1.8.3 i 1.8.4

Llavors s'obté la velocitat terminal del objecte amb caiguda lliure i per tant d'impacte, esmentar que es negligeixen les pèrdues del aire i fricció del guiatge de la massa que cau.

$$v_{\text{impacte}} = \sqrt{2gh}$$

Equacions 1.8.5

Realitzant els càlculs s'obté que el mòdul de la velocitat d'impacte és de 2,124 m/s².

S'ha considerat que la col·lisió dels dos objectes és entre dos sòlids rígids, ja que es vol realitzar una primera aproximació del càlcul [19]. Segons l'estudi dut a terme pel



Disseny i estudi preliminar d'homologació d'una llanta CFRP Alan Moncho Aracil

departament d'enginyeria mecànica de la universitat de Sakarya, Turquia. [20] Una primera aproximació del temps d'impacte en aquesta mena d'assaigs és de 35ms per tant amb aquesta dada podem obtenir la desacceleració que pateix el sòlid o massa quan aquesta impacta sobre la llanta.

$$\vec{a} = \frac{d \vec{v}}{dt}$$

Equació 1.8.6

Així doncs gràcies a l'equació 1.8.6 obté que el mòdul de l'acceleració de la massa correspon al següent mòdul.

$$|\vec{a}| = 60,7 \text{ m/s}^2$$

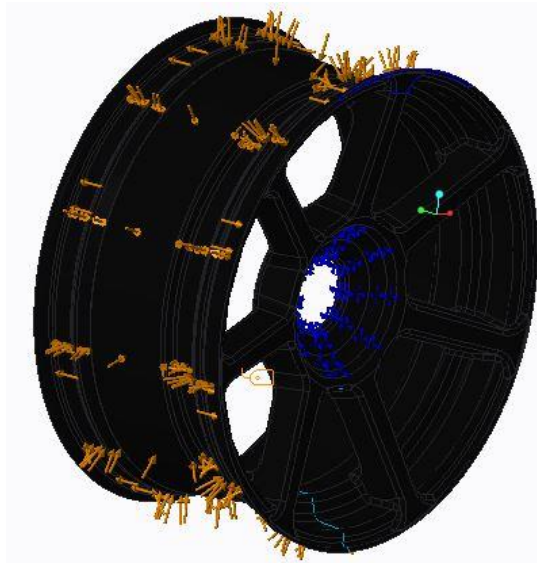
Amb l'acceleració obtinguda finalment calcularem la força necessària per tal de desaccelerar la massa que equival a:

$$|\overrightarrow{F_{\text{impacte}}}| = 34.595,55 \text{ N}$$

Segons l'estudi realitzat per *Billalk et al.* [20]. La contribució del pneumàtic en la dissipació d'aquesta equival a un 10% mentre que la llanta rep el 90% de la càrrega així doncs obtenim finalment que la força que implementarem al programa CAE és:

$$|\overrightarrow{F_{\text{impact}_{\text{llanta}}}}| = 31.135,99 \text{ N}$$

Obtingut el valor de la força màxima d'impacte que rebrà la llanta es procedeix a modelitzar les restriccions del nostre model i les càrregues aplicades abans de l'impacte.



Com s'observa en la figura 1.8.2.10, les constriccions i les pre-càrregues són idèntiques l'assaig anterior, ja que la norma estipula que la llanta estigui subjectada segons sigui el seu muntatge, i finalment el conjunt roda tingui la pressió màxima establerta pel fabricant. Recordar que en el nostre cas correspon a 2,4 bar o 240kPa.

Figura 1.8.2.10. Constriccions de moviment i reacció de la pressió d'inflat del pneumàtic.

Recordant que el solapament de l'àrea d'impacte de la llanta amb l'àrea de la massa que impacta correspon a una profunditat radial màxima de 25 mm es procedeix a realitzar una "Surface Region" que satisfaci les dimensions d'impacte de la massa, i que sigui una projecció de la mateixa a 13° , complint la profunditat màxima de superposició. Tanmateix cal recordar que la llanta ha de superar dos tests d'impacte, un on la zona d'impacte correspon a la unió radi, perfil de llanta i l'altre impacte ha de ser entre radis. Els dos impactes es realitzen amb dues llantes diferents.

Així doncs les zones d'impacte finals on s'aplicarà la força màxima són les mostrades en la figura 1.8.2.11.

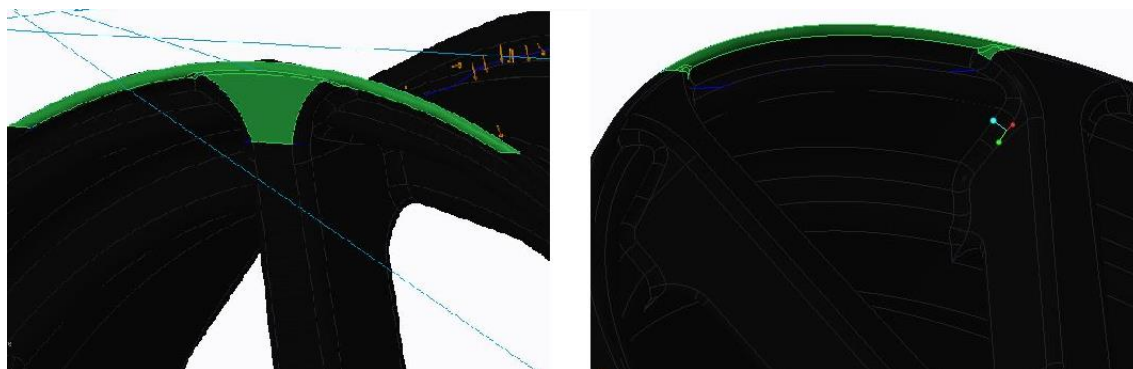


Figura 1.8.2.11 (A l'esquerra) Zona d'impacte 1 aplicada en la unió del radi i el perfil de llanta, (A la dreta) Zona d'impacte 2 projectada entre radis.

Recordar però que la força a aplicar és un mòdul i cal vectoritzar-la correctament per aplicar els 13° . Tenint en compte la figura 2.3.6 del plec de condicions es pot obtenir el vector director que determinarà el sentit i direcció de la força total.

Un cop doncs modelades totes les condicions per realitzar el FEA s'obtenen els resultats mostrats a continuació.

En aquest assaig degut a la diferència de repartiment de la superfície que rep l'impacte fa que els resultats siguin més dispars que els assaigs anteriors ja que com es pot observar en la figura 1.8.2.12, la deformació màxima en l'impacte 1 és menor ja que, hi ha un repartiment millor de tensions, amb la interacció del radi i que la superfície és molt major. Com a particularitat, el desplaçament màxim de la llanta el trobem al llavi oposat del impacte, ja que tot el conjunt es mou en bloc. Per contra en l'impacte 2 s'observa com la

deformació és major i el punt amb màxim desplaçament és la part posterior del mateix llavi que rep l'impacte.

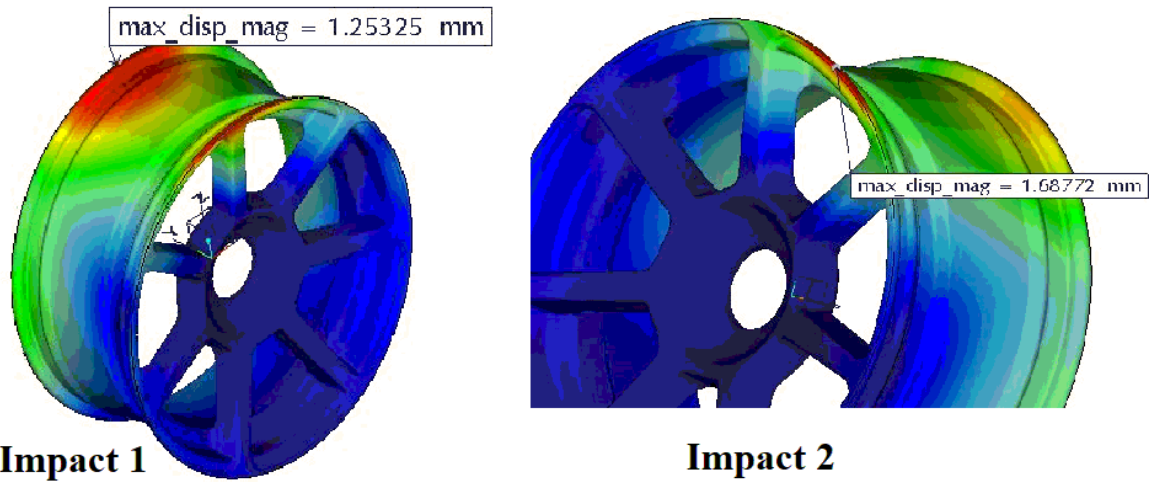


Figura 1.8.2.12 Resultat obtingut mitjançant l'estudi FEA dels desplaçaments màxims de la llanta, a causa del assaig d'impacte.

Pel que fa a l'ordre de magnituds es veu com aquest és l'assaig en què més deformacions s'assoleixen, no obstant tal com es veu en la figura 1.8.2.13 no existeix risc de ruptura del material. I s'ha de tindre en compte que el pneumàtic sofrirà també l'impacte i es deformarà inclús més que la llanta, així doncs es dona com a correcte el valor màxim obtingut de 1,69 mm aproximadament.

Taula 1.8.4 Resultat de l'estudi FEA dels desplaçaments màxims

Cas estudiat	Deformació màxima
Impacte 1	1,253 mm
Impacte 2	1,688 mm

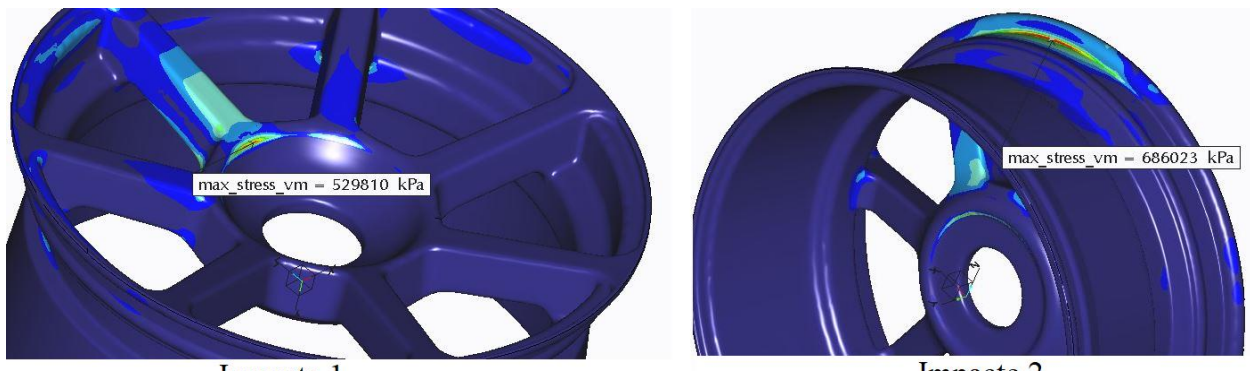
Finalment pel que fa els resultats obtinguts per les tensions es pot observar que el cas és molt similar, ja que el radi actua com una mènula absorbint l'esforç però per contra repercutint en l'àrea més pròxima a la zona de muntatge de la llanta.

Aquest fet es pot reduir amb la introducció d'una transició del radi més suau amb la zona de fixació, per contra com s'aprecia en la figura 1.8.2.13 en el cas de l'impacte entre

Disseny i estudi preliminar d'homologació d'una llanta CFRP Alan Moncho Aracil

radis la tensió és molt major, ja que el llavi és l'únic encarregat d'absorbir l'impacte tenint aquest menys material per dissipar l'energia resultant del mateix.

Per tant caldria en cas d'una revisió del model es pot optimitzar millor l'àrea de transició entre els radis i la fixació i també augmentar la secció del perfil en aquesta part més exterior del llavi. Tanmateix recalcar que la llanta és fiable i el resultat compleix els requisits establerts sense cap mena de problema



(A dalt) Figura 1.8.2.13 Resultat del assaig d'impacte

(Sota) Taula 1.8.5 Resultat de l'estudi FEA de les tensions màximes de Von Mises

Cas estudiat	Tensió màxima [MPa]
Impacte 1	529,81MPa
Impacte 2	686,023 MPa

A més les tensions obtingues, no són preocupants, ja que no s'excedeix sota cap concepte el 50% del límit elàstic del material. Podent assegurar així la integritat estructural del conjunt. De fet en l'assaig solament s'assoleix el 43,42% del límit elàstic.



8.3 Conclusions globals extretes

Després d'haver realitzat l'estudi d'elements finits en tots els assaigs descrits segons la norma UN/ECE 124 s'extrau les següents conclusions:

- L'assaig més condicionant i per tant més restrictiu per la seva naturalesa destructiva és l'assaig d'impacte que el disseny proposat ha superat amb èxit. Es recomana que en cas d'una segona evolució de disseny es pot tornar a redissenyar tot el model tenint en compte els resultats obtinguts en l'assaig. A més s'ha comprovat que la direcció axial de les rodes és la més crítica a l'hora de rebre esforços, ja que tots els esforços radials i tangencials són absorbits molt satisfactòriament per la llanda.
- Tot i haver obtingut resultats satisfactoris en tots els assaigs el model podria ser optimitzat, ja que es té una llanta amb un pes total de 6,88 kg i recordant que el pes d'una llanta d'alumini és de 11,10 kg s'ha aconseguit una reducció total del 38 %, superant amb escreix totes les expectatives dels requisits exigits. No obstant com ja s'ha vist els radis encara poden suportar càrregues més exigents i per tant es pot realitzar una reducció major del material en el buidatge d'aquests.
- Tot poder reduir el material, cal revisar zones crítiques com són les transicions entre radis i la zona de fixació de la llanda, ja que s'ha observat com és una zona crítica a l'hora d'absorbir tensions, veure resultats dels assaigs "*Impact Test*" i "*Rolling Test*".
- Els càlculs duts a terme en aquest projecte són una primera aproximació al resultat dels assaigs i per tant mai poden substituir els assaigs reals, no obstant s'estalvien costos de producció de prototips podent optimitzar el model abans de produir un primer prototip. Tanmateix en estudis FEA similars realitzats, la discrepància entre els resultats obtinguts i els resultats pràctics en el laboratori és d'un 3% per tant en aquest cas la modelització i el càlcul dels assaigs és molt útil en el procés productiu.

Així doncs havent realitzat un primer disseny s'ha de procedir a realitzar les iteracions necessàries per a optimitzar el màxim el model, fins que no es disposi de més recursos temporals o materials . A continuació podem doncs visualitzar aquest procés d'optimització mitjançant un diagrama de presa de decisions, en què es prioritza l'assaig més agressiu.

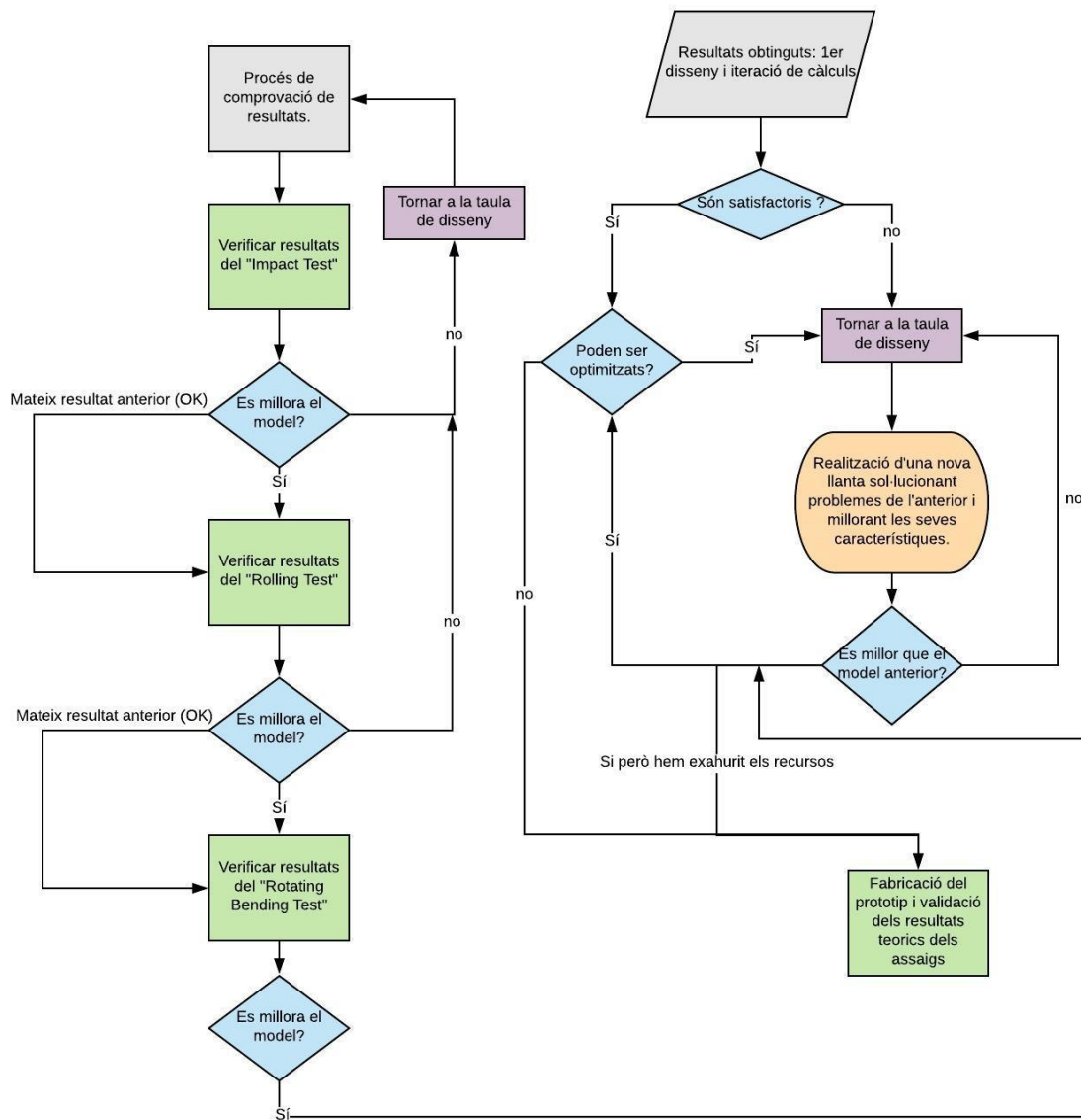


Figura 1.8.3.1 Diagrama a seguir per la correcta realització del disseny.



9. Annexes a la memòria

9.1 Índex d'annexes

9.1.1	Fitxa tècnica del Prepreg HexPly® M81.....	54
9.1.2	Fitxa tècnica de Glasurit® Laca HS Racing Clear VOC 923-135.....	58
9.1.3	Fitxa tècnica de Glasurit® Aditivo Racing 523-15.....	59
9.1.4	Fitxa tècnica del recobrint MC-156 - High Gloss Ceramic Clear.....	60
9.1.5	Fitxa tècnica de la pega estructural HexBond™ EA9351MB STRUCTIL.....	62
9.1.6	Fitxa tècnica de Core Lite®PVC HT60.....	64
9.1.7	Fitxa tècnica motlle de RAKU®-TOOL WB-0700.....	66

9.1.1 Fitxa tècnica del Prepreg HexPly® M81



HexPly® M81

135°C - 180°C curing epoxy matrix



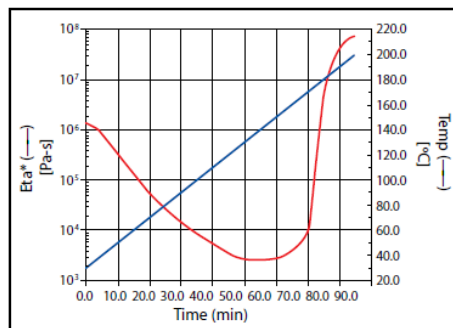
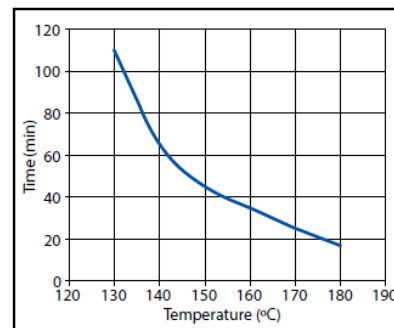
Product Data Sheet

Description

HexPly® M81 is a high performance tough epoxy matrix for use in industrial applications requiring good impact resistance and damage tolerance, such as the automotive industry. HexPly® M81 is based on the highly successful HexPly® 8552 toughened epoxy resin system, used widely around the world for the manufacture of aircraft structures. Non-aerospace customers now have the opportunity to benefit from the excellent performance of this resin system presented with reinforcements specially adapted for industrial markets.

Benefits and Features

- Toughened epoxy matrix with excellent mechanical properties
- Elevated temperature performance (T_g up to 200°C)
- Versatile cure cycle (from 135°C to 180°C)
- Available on various reinforcements
- Excellent drape and tack

Resin Matrix Properties*Rheology (EN 6043-A, 2°C/min)**Gel time (hot plate)*

- Colour
- Density
- Maximum Glass Transition Temperature, T_g onset dry
- Maximum Glass Transition Temperature after ageing, T_g onset wet

Yellow
1,30 g/cm³
200°C
140°C



HexPly® M81
135°C - 180°C curing epoxy matrix



Product Data Sheet

Curing Conditions

HexPly® M81 is a flexible curing system and can be cured at temperatures from 135°C to 180°C.

The recommended cure is 3 hours at 135°C. Alternative cure cycles can be used:

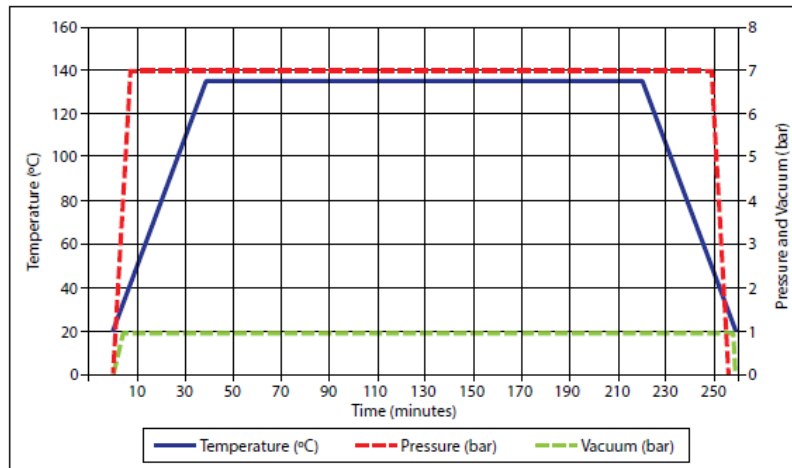
Cure Temperature	135°C	135°C	135°C	150°C	170°C	180°C
Time	2 hours	3 hours	3 hours	2 hours	1 hour	2 hours
T _g * (onset/DMA)	110°C	135°C	135°C	150°C	180°C	200°C
Post cure	1h / 170°C	1h / 170°C	2h / 180°C	–	–	–
T _g * after PC	175°C	180°C	200°C	–	–	–

* T_g Temperature can be slightly different depending of the fabric weight. The lowest values are here above presented.

Curing Cycle for monolithic parts

Typical cure cycle for monolithic parts

1. Apply the full vacuum (1 bar)
2. Apply 7 bars gauge autoclave pressure
3. Heat at 1-3°C/min to 135°C
4. Hold at 135°C for 180 minutes
5. Cool at 2-5°C/minute
6. Vent autoclave pressure when the part reaches 60°C or below



For thick parts intermediary dwell 30 min. at 110° C can be added to limit exotherm and improve health of the part.

Heat-up rates are dependent on component thickness, eg, slow heat-up rates should be used for thicker components and large tools. Accurate temperature measurements of the component should be made during the cure cycles by using thermocouples.

Performance testing should accompany alternative cure cycles to ensure suitability for the particular application.



HexPly® M81
135°C - 180°C curing epoxy matrix



Product Data Sheet

Prepreg Physical Properties (Examples only. For the wider prepreg range contact Hexcel)

Product Designation		M81/38%/UD150/CHS	M81/42%/200T2/CHS-3K	M81/42%/370T2/CHS-12K	M81/42%/400T2/CHS-6K
Fibre	–	HS Carbon 30K	HS Carbon 3K	HS Carbon 12K	HS Carbon 6K
Weave	–	UD	Twill 2x2	Twill 2x2	Twill 2x2
Mass	g/m ²	150	200	370	400
Nominal Cured Ply Thickness	mm	0.15	0.22	0.41	0.45
Nominal Fibre Volume	%	54.1	50.2	49.9	50.2
Nominal Laminate Density	g/cm ³	1.57	1.54	1.55	1.54

Cured Mechanical Properties (Examples only. For the wider prepreg range contact Hexcel)

Mechanical Properties are based on 135°C cure for 120 minutes, at 6 bar pressure and -0.95 bar vacuum + post curing 60 minutes at 170°C.

Data is the result from several tests on autoclave cured laminates. Some of the values achieved will have been higher, and some lower than the figure quoted. These are nominal values.

Test	Methods	Units	M81/38%/UD150/CHS	M81/42%/200T2/CHS-3K	M81/42%/370T2/CHS-12K	M81/42%/400T2/CHS-6K
Tensile Strength	EN2561	MPa	2500	980	1100	870
Tensile Modulus		GPa	150	67	66	68
Flexural Strength	EN 2562	MPa	1700	1060	1020	1050
Flexural Modulus		GPa	131	58	56	59
ILSS	EN 2563	MPa	115	90	63	67
Comp. Strength	EN 2850B	MPa	1580	890	840	950

NB : Data normalised to Fibre Volume Content (55% for fabrics; 60% for UD) except for ILSS and Flexural.

Compression After Impact (CAI), Interlaminar Fracture Toughness Mode 1 (G_{IC}) and In plan Shear (IPS)

M81/42%/370T2/CHS-12K (2h/135° C + PC 2h/180°C)	CAI - ASTM D7136/D7137 - 6,6J/mm			G_{IC} EN 6033 (J/m ²)	IPS ASTM D3518	
	Indentation (mm)	Damage Area (cm ²)	Strength (Mpa)		Strength (Mpa)	Modulus (Gpa)
	28	14	200		90	4.9



HexPly® M81
135°C - 180°C curing epoxy matrix



Product Data Sheet

Prepreg Storage Life

- ¹ Shelf Life: 12 months at -18°C/0°F (from date of manufacture).
The maximum storage life for HexPly® prepreg, when stored continuously, in a sealed moisture-proof bag, at -18°C/0°F or 5°C/41°F. To accurately establish the exact expiry date, consult the box label.
- ² Out Life: 14 days at room temperature (25°C max).
The maximum accumulated time allowed at room temperature between removal from the freezer and cure.
- ³ Tack Life: 10 days (depending of the reinforcements) at room temperature (25°C max).
The time, at room temperature, during which prepreg retains enough tack for easy component lay-up.

Storage Conditions

HexPly® M81 prepregs should be stored as received in a cool dry place or in a refrigerator. After removal from refrigerator storage, prepreg should be allowed to reach room temperature before opening the polythene bag, thus preventing condensation (a full reel in its packaging can take up to 48 hours).

Precautions For Use

The usual precautions when handling uncured synthetic resins and fine fibrous materials should be observed, and a Safety Data Sheet is available for this product. The use of clean disposable inert gloves provides protection for the operator and avoids contamination of material and components.

For more information

Hexcel is a leading worldwide supplier of composite materials to aerospace and industrial markets. Our comprehensive range includes:

- HexTow® carbon fibers
- HexForce® reinforcements
- HexPly® prepregs
- HexMC® molding compounds
- HexFlow® RTM resins
- Redux® adhesives
- HexTool® tooling materials
- HexWeb® honeycombs
- Acousti-Cap® sound attenuating honeycomb
- Engineered core
- Engineered products

For US quotes, orders and product information call toll-free 1-800-688-7734. For other worldwide sales office telephone numbers and a full address list, please go to:

<http://www.hexcel.com/contact/salesoffice>

©2016 Hexcel Corporation – All rights reserved. Hexcel Corporation and its subsidiaries ("Hexcel") believe that the technical data and other information provided herein was materially accurate as of the date this document was issued. Hexcel reserves the right to update, revise or modify such technical data and information at any time. Any performance values provided are considered representative but do not and should not constitute a substitute for your own testing of the suitability of our products for your particular purpose. Hexcel makes no warranty or representation, express or implied, including but not limited to the implied warranties of merchantability and fitness for a particular purpose, and disclaims any liability arising out of or related to, the use of or reliance upon any of the technical data or information contained in this document.

FTU-000-A0116

9.1.2 Fitxa tècnica de Glasurit® Laca HS Racing Clear VOC 923-135

Technical Information











923-135

10/2011

Glasurit® HS Racing Clear VOC

G / C

Application:	HS clear for 90 Line basecoat/clearcoat systems. For use in quick repair jobs, especially on single panels or for Spot Repair.
Properties:	Fast drying, excellent polishing behaviour.
Remarks:	<ul style="list-style-type: none"> Select hardener, reducer and reducer percentage according to ambient temperature and size of object to be painted.

	Paint system		
		Spreading rate:	330 m²/l at 1 µm
	Mixing ratio	2 : 1 + 10% 100% by vol. 923-135	
	Hardener	50% by vol. 929-31/-33	
	Reducer	10% by vol. 352-50/-91-/216 (depending on application conditions)	
	Spray viscosity DIN 4 at 20°C	18-20 s	Potlife at 20°C 45 min. (929-31)
	Gravity cup Spraying pressure	HVLP-gravity-feed spray gun: 1.3 mm 2.0 – 3.0 bar 0.7 bar at the nozzle	Compliant gravity-feed spray gun: 1.3 -1.4 mm 2.0 bar
	Number of spraycoats	2 ½ + 1 can be applied to vertical surfaces (no flash-off between coats required)	Film thickness: 40 - 60 µm Film thickness: 40 - 60 µm
	Flash-off at 20°C	1-2 min. after first spraycoat	
	Drying at 60 °C	Polishing 929-31 = 20 min. 929-33 = 25 min.	
	Infrared (short wave) Infrared (medium wave)	8 min. 10 - 15 min.	

Safety advice:

The products are suitable for professional use only.

It cannot be ruled out that this product contains particles < 0.1 µm.

2004/42/II(d)(420)419: The EU limit value for this product (product category: IIB.d) in ready to use form is max 420 g/litre of VOC. The VOC content of this product is 419 g/litres.

The data contained in this publication are based on our current knowledge and experience. In view of the many factors that may affect processing and application of our products, these data do not relieve processors from carrying out their own investigations and tests; neither do these data imply any guarantee of certain properties, nor the suitability of the products for a specific purpose. Any descriptions, drawings, photographs, data, proportions, weights etc. given herein are for general information purpose only; they may change without prior information and do not constitute the agreed contractual quality of the products (product specification). The latest version supersedes all previous versions. You can obtain the latest version from our website at <http://techinfo.glasurit.com> or directly from your sales partner. It is the responsibility of the recipient of our products to ensure that any proprietary rights and existing laws and legislation are observed.

BASF Coatings GmbH - Automotive Refinish Coatings Solutions Europe - Glasuritstrasse 1 - 48165 Münster - Germany



9.1.3 Fitxa tècnica de Glasurit® Aditivo Racing 523-15

Información técnica











523-15

11/2017

Glasurit® Aditivo Racing

G / Z

Aplicación:	Acelerador de secado para las lacas estándar de Glasurit (acordes y no acordes con la legislación VOC), Serie 22, Serie 22 VOC, 22 VOC MC600 y 285- Imprimación aparejo/Aparejo HS.
Propiedades:	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de los tiempos de secado. • Mejora el secado y el endurecimiento de la superficie, además de aumentar la resistencia a la cinta.
Observaciones:	A causa de la corta vida útil de la mezcla, no se añade 523-15 Aditivo Racing a 285- Imprimación aparejo/Aparejo a temperaturas de más de 25 °C.

 Sistema de pintura	Laca			
 Relación de mezcla	2 : 1 + 10 % 100% del vol.	Laca acorde VOC 923-35 923-115 923-135 923-335	2 : 1 + 10 % 100% del vol.	Lacar 923-144 923-155 923-255
 Endurecedor	50% del vol.	929-31, -33	50% del vol.	929-91, -93
 Diluyente	10% del vol.	523-15	10% del vol.	523-15
 Viscosidad de aplicación según DIN 4 a 20 °C	16 – 22 s, dependiendo del producto usado		Vida de la mezcla a 20 °C: 45 – 120 min., dependiendo del producto usado	
 Pistola de gravedad Presión de aplicación	Pistola HVLP: 1,3 mm 2,0 – 3,0 bares/0,7 bares en la boquilla		Pistola de gravedad homologada 1,3 – 1,4 mm, 2,0 bares	
 Número de manos	½ + 1 Espesor de película: 40 - 60 µm		½ + 1 2 923-255 923-144, - 155 Espesor de película: 40 - 60 µm	
 Secado a 20 °C	923-135 923-35, -115, -335	1 h 4 h	923-144 923-155, -255	1 h 3 h
 Secado a 60 °C	923-135 923-35, -115, -335	15 min. 20 min.	923-144 923-155, -255	10 min. 20 min.
 Infrarrojos (onda corta) Infrarrojos (onda media)	6 min. 8 – 12 min.			

Aviso de seguridad:

Estos productos son aptos únicamente para uso profesional.

No se puede descartar que este producto contenga partículas de menos de 0,1 µm.

La información contenida en este documento se basa en los conocimientos y la experiencia actuales. A la vista de los muchos factores que afectan al procesamiento y la aplicación de nuestros productos, esta información no exime a los usuarios de realizar sus propias investigaciones y pruebas, ni implica ninguna garantía de determinadas propiedades ni de la adecuación de los productos para un propósito específico. Las descripciones, diagramas, fotografías, datos, proporciones, pesos, etc. proporcionados se ofrecen exclusivamente como información general, pueden cambiar sin aviso previo y no constituyen un contrato de calidad de los productos (especificación del producto). La versión más reciente sustituye a todas las versiones anteriores. La versión más actualizada se puede obtener en nuestro sitio web (<http://techinfo.glasurit.com>) o solicitándola directamente a su distribuidor. Es responsabilidad del comprador de nuestros productos asegurarse de que se respetan los derechos de propiedad y de que se cumplen las leyes y normativas en vigor.

BASF Coatings GmbH - Automotive Refinish Coatings Solutions Europe - Glasuritstrasse 1 - 48165 Münster - Germany





9.1.4 Fitxa tècnica del recobrint MC-156 - High Gloss Ceramic Clear

**PRODUCT DESCRIPTION**

The Cerakote™ **MC-Series** Ambient-Cure Clear Ceramic Coatings are designed to protect both metal and non-metal substrates and be used as a top coat over a number of materials. Cerakote™ **MC-Series** Ambient-Cure Clear Ceramic Coatings are available in varying degrees of gloss and are resistant to many solvents and graffiti. Cerakote™ **MC-Series** Ambient-Cure Clear Ceramic Coatings are formulated for a wide range of applications including but not limited to: high temperature systems, outdoor uses and aesthetic purposes.

In addition to performance, the **MC-Series** Ambient-Cure Clear Ceramic products are designed for ease of application. Each product is VOC-exempt and cures quickly at room temperature.

Cure Schedule (Ambient Temperature):

Tack free at 40 minutes
Dry after 24-hours
100% cure after 5 days

MC-Series Ambient-Cure Clear Ceramic Coatings are currently available in several different gloss finishes. Visit www.nicindustries.com to view a complete product listing.

Cerakote™ MC-Series High Temperature Ceramic Coatings are recommended for wheels, plastics, metal substrates and pre-coated materials. Contact a Cerakote™ sales representative to determine which coating is appropriate for your application.

MC-156 High Gloss Ceramic Clear

Gloss Level (Polished Aluminum)	488 Gloss Units at 60°
Gloss Level (Steel)	28 Gloss Units at 60°
Theoretical Solids by Weight	41% +/- 2%
Theoretical Coverage per gallon at 1.0 mil	659 ft ²
Viscosity (Brookfield Viscometer)	5.22 cP
Recommended Film Thickness	0.5-0.75 mils
5% Salt Spray (ASTM B117)	84 hours
Pencil Hardness (ASTM D3363)	9h
Scratch Hardness (ASTM D3363)	7h
Adhesion Cross-Cut Tape (ASTM D3359)	5B
Mandrel Bend (ASTM D522)	0 mm coating loss at 180° rotation
Impact (ASTM D2794)	80/80 inch-lbs
Abrasion (ASTM D4060)	265 cycles per mil

SHELF LIFE: 12 MONTHS FROM DATE OF SHIPMENT.

NIC Industries, Inc. does not warranty the use or application of the materials it manufactures or supplies. Our only obligation shall be to replace any defective materials supplied by us or refund the original purchase price of that product after we have determined the product to be defective. We assume no liability for damages of any kind and the user accepts the product "as is" and without any warranties, expressed or implied. The suitability of the product and/or intended use shall be solely the responsibility of the user.

The information contained in this bulletin we believe to be correct to the best of our knowledge and testing. The recommendations and suggestions herein are made without guarantee or representation as to results. We recommend that you make adequate tests in your laboratory or plant to determine if this product meets all your requirements.



Preparation of substrate is crucial for maximum adhesion and performance of this material

- 1.) Completely disassemble the item to be coated. If pins or parts are left in, they can produce runs and ruin the finish.
- 2.) Prepare surface to remove oil, contaminants or any unwanted coatings from the substrate.
- 3.) For polished metals that must retain a specific appearance, an organic solvent such as tert-Butyl acetate should be used to clean the surface. Acetone, Alcohols, MEK and other organic solvents that carry moisture should be avoided.
- 4.) Hang parts to allow for best view and application access. This can be done by using support wires or hooks. Make sure to place parts in such a way that they will not bump into each other. Do not touch parts with bare skin.
- 5.) Blow off substrate with a high-pressure air nozzle to remove any dust left on the surface. Work in a well-ventilated area and wear a respirator - see MSDS for safety and handling information.
- 6.) Coating is ready to spray and should not be thinned. Gently shake container and pour through a **145** mesh filter into a high quality HVLP detail spray gun with a .8mm tip, such as an IWATA LPH -80 (NIC Part# SE-138) or a siphon-fed detail spray gun with a fine to medium tip. The use of a small spray tip pattern will aid in coating hard to reach areas without excessive build up in surrounding areas. Electrostatic application may also be an option.
- 7.) A single wet coat is recommended for a 0.25 to 0.5 mil dry film thickness. Work from the most difficult surface out to the easiest. This will aid in reducing runs or excessive build up.
- 8.) Allow to air-dry. Parts will be tack free after approximately 35 to 45 minutes. Until this point the coating is still wet and should not be touched. Parts will be partially cured after 24 hours and fully cured 5 days after application.
- 9.) Finished goods may be handled, packaged and shipped after 24 hours when the coating is partially cured.
- 10.) Clean tools and equipment with tert-Butyl acetate or acetone.

Please contact a Cerakote™ Technical Advisor with questions on proper use and/or application. Onsite or offsite training courses are available for further instruction. Consult your MSDS for proper handling, disposal, and precautions while using this product.

NIC Industries, Inc. does not warranty the use or application of the materials it manufactures or supplies. Our only obligation shall be to replace any defective materials supplied by us or refund the original purchase price of the product after we have determined it to be defective. We assume no liability for damages of any kind and the user accepts the product "as is" and without any warranties, expressed or implied. The suitability of the product or intended use shall be the sole responsibility of the user.

All information provided is believed to be correct, to the best of our knowledge and testing. We recommend that you make adequate tests in your laboratory or plant to determine if this product meets your requirements.




Disseny i estudi preliminar d'homologació d'una llanta CFRP Alan Moncho Aracil

9.1.5 Fitxa tècnica de la pega estructural HexBond™ EA9351MB STRUCTIL



HexBond™ EA9351MB STRUCTIL

BMI Paste Adhesive



Product Data Sheet

Description

One component epoxy/bismaleimide potting resin for filling and stiffening of honeycomb sandwich structures
Service temperature range: -55°C/ -67°F to 210°C/410°F.

Features

- One component
- Good compressive strength up to 210°C/ 410°F
- Low density (0.6)

Uncured Adhesive Properties

	HexBond™ EA 9351MB STRUCTIL
Colour	Yellow
Packaging	3,5kg of product in a 10 litres pail
Density at 25°C/ 77°F after curing	0,6
Standard shelf life at -18°C / 0°F from date of shipment	12 months + 3 weeks at RT

Instructions for use

Refer to the Safety Data Sheet before handling.

- Product needs to be warmed at 50°C/ 120°F for applying
- Cure cycle: 1h at 175°C/ 347°F + post cure 2h at 245°C/ 473°F under 5 bar pressure
- Heat up temperature : 2°C/ min // 3,6 °F/min



HexBond™ EA9351MB STRUCTIL BMI Paste Adhesive



Product Data Sheet

Bond Strength Performance After Cure

Tests	Methods	Temperatures (°C/ °F)	Values (MPa / psi)
Tensile Lap Shear	EN 2243-1	23 / 73	9 / 1300
Compression	DIN 53454	23 / 73	80 / 11600
		210 / 410	40 / 5800

Surface preparation of aluminium 2024-T3 clad: Sulfo-chromic acid etch

Cure cycle: 1h at 175°C/ 347°F + post cure 2h at 245°C/ 473°F under 5 bar pressure (2°C/min / 3.6°F/min)

This information is provided for informal purposes only, without legal responsibility and does not constitute a specification. Users are expected to perform adequate verification and testing to ensure that materials meet required specification.

For more information

Hexcel is a leading worldwide supplier of composite materials to aerospace and industrial markets.

Our comprehensive range includes:

- HexTow® carbon fibers
- HexForce® reinforcements
- HiMax™ multiaxial reinforcements
- HexPly® prepregs
- HexMC® molding compounds
- HexFlow® RTM resins
- Redux® & HexBond™ adhesives
- HexTool® tooling materials
- HexWeb® honeycombs
- Acousti-Cap® sound attenuating honeycomb
- Engineered core
- Engineered products
- Polyspeed® laminates & pultruded profiles
- HexAM™ additive manufacturing

For US quotes, orders and product information call toll-free 1-800-688-7734. For other worldwide sales office telephone numbers and a full address list, please go to:

<http://www.hexcel.com/contact/salesoffice>

©2018 Hexcel Corporation – All rights reserved. Hexcel Corporation and its subsidiaries ("Hexcel") believe that the technical data and other information provided herein was materially accurate as of the date this document was issued. Hexcel reserves the right to update, revise or modify such technical data and information at any time. Any performance values provided are considered representative but do not and should not constitute a substitute for your own testing of the suitability of our products for your particular purpose. Hexcel makes no warranty or representation, express or implied, including but not limited to the implied warranties of merchantability and fitness for a particular purpose, and disclaims any liability arising out of or related to, the use of or reliance upon any of the technical data or information contained in this document.

RTU 401 MC18



9.1.6 Fitxa tècnica de Core Lite®PVC HT60

CoreLite® PVC HT

Product Data Sheet**Last Revised: December 14, 2015**

CoreLite® PVC HT (High Temperature) is a closed-cell, cross-linked polymer PVC foam formulated for resistance to high temperatures, durability, rigidity and strength. It is compatible with multiple resins and adhesives.

It has a very low water absorption rate and excellent chemical resistance. Ideal for many lightweight composite applications that will be exposed to high temperatures

PROCESSING

- Hand lamination / spray lay-up
- Vacuum infusion
- Resin injection
- Adhesive bonding
- Pre-preg processing (up to 140 °C, 285 °F)
- Thermoforming

**APPLICATIONS**

Marine: hulls, decking, bulkheads, interiors superstructures

Transportation: floors, ceilings, doors, interiors, partition walls, sidewalls

Wind energy: rotor blades, covers, casings

Aerospace: fuselage and wind components, kitchen trolleys, galleys

Industrial: Covers, Containers, Tanks, Sporting goods, Tooling and Molds

USA - Florida
1060 E. 30 St.
Miami, FL 33013, USA
T +1 (305) 921-4292
F +1 (305) 691-9094

USA - Texas
5101 Norwood Road
Dallas, TX 75247, USA
T +1 (214) 905-4359
F +1 (214) 905-4365

Ecuador
Km. 24 Via Daule
Guayaquil, Ecuador
T +593 4-226-7008
F +593 4-226-7007

Europe
Via Enrico Fermi, ZAI
46011 - Acquanegra s/C (MN), Italy
T +39 3398 107391
F +39 0376 727248

www.corelitecomposites.com
info@corelitecomposites.com
CoreLite®



CoreLite® PVC HT

Mechanical Properties for CoreLite PVC HT			
TEST STANDARDS	Units (Metric)	HT 60	HT 80
Density per ASTM D1622	Kg. / M3	60	80
Compressive Strength per ASTM D1621-10	MPa	0,90	1,46
Compressive Modulus per ASTM D1621-10	MPa	44	64
Tensile Strength per ASTM D1623	MPa	2,00	2,80
Tensile Modulus per ASTM D1623	MPa	101	142
Shear Strength per ASTM C273	MPa	0,78	1,16
Shear Modulus per ASTM C273	MPa	20	30
Shear elongation at break per ASTM C273	%	27	27
Thermal conductivity at room temperature	W/m.K	0,031	0,036
Standard Sheet dimensions	mm	1120 x 2400	1005 x 2150
Sheet Thickness	mm	from 3 to 78	from 3 to 75

Values shown are nominal average determined from independent laboratory and house testing. Tests are parallel to the plane.

Color	Pink	Yellow
Density Tolerance:	+ / - 10%	

Disclaimer: The information and data presented herein are subject to revision. CoreLite Inc. reserves the right to release replacement data. The data presented is derived from in house and independent testing. Calculations should be verified with physical test. The data is provided without liability to CoreLite, Inc. or its agents and does not constitute warranty or representation in respect to the material or its use.

USA - Florida
1060 E. 30 St.
Miami, FL 33013, USA
T +1 (305) 921-4292
F +1 (305) 691-9094

USA - Texas
5101 Norwood Road
Dallas, TX 75247, USA
T +1 (214) 905-4359
F +1 (214) 905-4365

Ecuador
Km. 24 Via Daule
Guayaquil, Ecuador
T +593 4-226-7008
F +593 4-226-7007

Europe
Via Enrico Fermi, ZAI
46011 - Acquanegra s/C (MN), Italy
T +39 3398 107391
F +39 0376 727248

www.corelitecomposites.com

•

info@corelitecomposites.com

CoreLite®



9.1.7 Fitxa tècnica motlle de RAKU®-TOOL WB-0700

RAKU® TOOL WB-0700**Board Material****Epoxy Board for Tools & Molds**

© RAMPF Tooling Solutions GmbH & Co. KG

PC - Rev.-Status: 01- 2016/06/22

Page 1 of 2

Key Properties

- Very fine surface structure
- Very easily machined
- Good dimensional stability
- Heat resistant up to 130°C

Applications

- Lay-up tools for prepreg
- Vacuum forming molds
- High temperature applications

Mechanical Properties

			WB-0700
Color	visual		Light green
Density	ASTM D-792	g/cm ³ (lb/ft ³)	ca. 0.70 (ca. 43.8)
Shore hardness D	ASTM D-2240		65 – 70
Coefficient of thermal expansion	ASTM D-3386	10 ⁻⁶ K ⁻¹ (in/in/°F x 10 ⁻⁶)	35 – 45 (19 – 25)
Deflection temperature, HDT	ASTM D-648	°C (°F)	130 – 140 (266 – 284)
Compressive strength	ASTM D-695	MPa (psi)	50 – 55 (7,300 – 8,000)
Flexural strength	ASTM D-790	MPa (psi)	30 – 40 (4,400 – 5,800)
Tensile strength	ASTM D-638	MPa (psi)	20 – 25 (2,900 – 3,600)

Processing

The product should have a temperature of 20°C – 25°C (68-77°F) during processing.

Packaging

RAKU® TOOL WB-0700

1500 x 500 x 50 mm
(59.1 x 19.7 x 2.0 in)
1500 x 500 x 75 mm
(59.1 x 19.7 x 3.0 in)
1500 x 500 x 100 mm
(59.1 x 19.7 x 3.9 in)
1500 x 500 x 150 mm
(59.1 x 19.7 x 5.9 in)
1500 x 500 x 200 mm
(59.1 x 19.7 x 7.9 in)



RAKU® TOOL WB-0700

Board Material

Epoxy Board for Tools & Molds



© RAMPF Tooling Solutions GmbH & Co. KG

PC - Rev.-Status: 01- 2016/06/22

Page 2 of 2

Storage

The material should be stored flat and in a dry place. Temperature variations should be avoided during storage and transportation.

Handling Precautions

Good workplace ventilation is to be ensured during processing. At the same time, the employer's liability insurance association's industrial hygiene safety regulations regarding the handling of reaction resins and their hardeners are to be observed. Please take heed of the appropriate safety data sheets.

For information on adhesives and repair pastes see the corresponding individual technical data sheets.

RAMPF Group, Inc.
49037 Wixom Tech Drive
Wixom, MI 48393
T +1 248. 295.0223
F +1 248. 295.0224
E info@rampf-group.com
www.rampf-group.com
www.rampf-gruppe.de

Our recommendations on the use of the material are based on many years of experience and current scientific and practical knowledge. They are, however, provided without any obligation on our part and do not relieve the buyer of the need for suitability tests. They do not constitute a legal relationship, nor are any protected third party rights whatsoever affected thereby.



II. Plec de condicions

1. Llistat de materials

A continuació s'exposarà el llistat de materials necessaris per efectuar la fabricació de la llanta exposada.

1.1 Material necessari per la realització del motlle

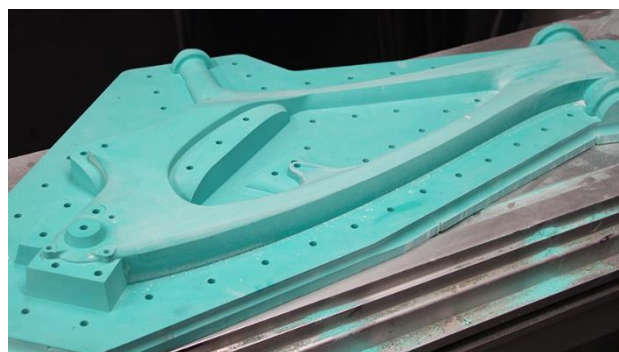
El motlle es realitza amb un únic material mitjançant un procés de mecanització d'un bloc de resina epòxid.

Material RAKU®-TOOL WB-0700

motlle :

Descripció Bloc epòxid per a motlles

del material: Prepreg d'alta temperatura.
Mecanitzable i amb
estabilitat dimensional.



Mida del 1500x500x200 [mm]
bloc:

Figura 2.1.1 Motlle realitzat amb el material WB-0700
per fer un quadre de bicicleta

Per més informació veure annex 9.1.7.

1.2 Materials necessaris per la realització de la peça

L'ordre dels materials és segons l'ordre d'aplicació del producte.

1.2.1 Materials necessaris per el cicle de curat de la peça i desemmotllament.

Taula 2.1.2.1 Materials consumibles necessaris per la realització de la llanta

Material	Descripció del producte i fase de fabricació
LOCTITE®Frekote PMC™	Dissolvent netejador de motlles. Preparador de superfície del motlle.
LOCTITE® FREKOTE 770-NC™	Agent desemmotllant. Preparador de superfície del motlle.
AeroFilm™ R210	Film no perforat per l'extracció del Prepreg. Preparació per el buit de la peça.



Disseny i estudi preliminar d'homologació d'una llanta CFRP Alan Moncho Aracil

VACUOPLEX MP™	Manta d'absorció dels solvents presents en el Prepreg no curat. Preparació per el buit de la peça
Aerofilm® VB200	Bossa per la realització del buit Preparació per el buit de la peça
Diatex K7666 Flash tape	Cinta doble cara per la fixació dels elements que conformen les capes de buit. Preparació per el buit de la peça

1.2.2 Materials del conjunt llanta

Taula 2.1.2.2 Materials que conformen la llanta

Material	Descripció del producte
HexPly ® M81	Prepreg epòxid, material primari de la llanta
Core Lite®PVC HT60	Bloc d'escuma PVC que conforma el nucli de la llanta
HexBond™ EA9351MB STRUCTIL	Pega estructural epòxid, element d'unió entre plaques d'alumini i la fibra M81.
Alumini 6061 T651	Barra d'alumini per a mecanitzar amb les dimensions següents Ø10,4 cm x L 0,9144 m. (Ø 4"x L 3ft).

1.3 Materials necessaris per l'aplicació dels tractaments

1.3.1 Materials per l'aplicació de la protecció UV.

Taula 2.1.3.1 Materials necessaris per protegir contra els UV

Material	Descripció del producte
Glasurit® 541-30	Netejador universal per a plàstics
Glasurit® 700-10	Desengreixant i agent netejador de superfícies.
Glasurit® Laca HS Racing Clear VOC 923-135	Laca protectora envers dels raigs ultraviolats
Glasurit® Endurecedor 929-31, -33	Catalitzador requerit per la laca protectora
Glasurit® Aditivo Racing 523-15	Accelerador d'eixugat per la laca protectora.



1.3.2 Materials per l'aplicació de la protecció de temperatura

Taula 2.1.3.1 Materials necessaris per protegir contra la temperatura i agents externs

Material	Descripció del producte
Glasurit® 541-30	Netejador universal per a plàstics
MC-156 - High Gloss Ceramic Clear	Laca ceràmica que ofereix protecció envers de la temperatura i dels agents externs.

2. Qualitat dels materials

A continuació s'exposarà la norma dels materials que disposen d'ella o bé les proves en que han estat sotmesos segons la norma que les regulen.

L'ordre d'exposició dels productes és segons l'exposat en l'apartat 1 del plec de condicions del projecte. Tanmateix els materials no esmentats no especifiquen cap norma.

2.1 RAKU®-TOOL WB-0700

No disposa de norma pròpia tanmateix les proves sotmeses del material per extreure'n les seves propietats són les exposades a la taula 2.2.2.1.

Taula 2.2.2.1 Normes que regulen els assaigs del material RAKU®-TOOL WB-0700

Propietat	Norma	Propietat	Norma
Densitat	ASTM D-792	CTE	ASTM D-2240
Duresa	ASTM D-2240	HDT	ASTM-D648
Resistència a compressió	ASTM D-695	Resistència a flexió	ASTM D-790
Resistència a tracció	ASTM D-638		

2.2 AeroFilm™ R210

Material sense norma pròpia però amb característiques extretes d'assaigs regulats.

Taula 2.2.2.2 Normes que regulen els assaigs del material AeroFilm™ R210

Propietat	Norma	Propietat	Norma
Gruix Nominal	ISO 4593	Tensió màxima	ASTM-D882
Elongació de ruptura	ASTM 527-3		



2.3 Aerofilm® VB200

Material sense norma pròpia però amb característiques extretes d'assaigs regulats.

Taula 2.2.2.3 Normes que regulen els assaigs del material AeroFilm™ VB200

Propietat	Norma	Propietat	Norma
Gruix Nominal	ISO 4593	Tensió màxima	ASTM-D882
Elongació de ruptura	ASTM-D882		

2.4 HexPly ® M81

Material sense norma pròpia però amb característiques extretes d'assaigs regulats.

Taula 2.2.2.4 Normes que regulen els assaigs del material HexPly ® M81

Propietat	Norma	Propietat	Norma
Resistència a tracció	EN 2561	Resistència a flexió	EN 2562
Mòdul de young		Mòdul de flexió	
ILSS	EN 2563	Resistència a compressió	EN 2850B

2.5 Alumini 6061-T651

El material subministrat per el fabricant compleix la següent normativa pròpia.

AMS 4117H
ASTM B-211-03
SAE-AMS-QQ-A 225/8

UNS A96961
ISO AlMg1SiCu
AD-33

2.6 Core Lite®PVC HT60

Material sense norma pròpia però amb característiques extretes d'assaigs regulats.

Taula 2.2.2.6 Normes que regulen els assaigs del material Core Lite®PVC HT60

Propietat	Norma	Propietat	Norma
Densitat	ASTM D-1622	Resistència compressió	ASTM D1621-10
Resistència a tracció	ASTM D1623	Mòdul de compresió	
Mòdul de young		Resistència al cisallament	ASTM C273
		Mòdul de cisallament	
		Elongació a cisallament	



2.7 HexBond™ EA9351MB STRUCTIL

Material sense norma pròpia però amb característiques extretes d'assaigs regulats.

Taula 2.2.2.7 Normes que regulen els assaigs del material HexBond™ EA9351MB STRUCTIL

Propietat	Norma	Propietat	Norma
Resistència a cisallament	EN 2243-1	Resistència a compressió	DIN 53454

2.8 Productes Glasurit®

Tots els productes de lacat per la protecció U.V compleixen la legislació COV, és a dir de compostos orgànics volàtils. Recollida en la directiva 1999/13/CE i recollida a la legislació com al Real Decret 117/2003.

2.9 MC-156 - High Gloss Ceramic Clear

Material sense norma pròpia però amb característiques extretes d'assaigs regulats.

Taula 2.2.2.9 Normes que regulen els assaigs del material MC-156 - High Gloss Ceramic Clear

Propietat	Norma	Propietat	Norma
Resistència a 5% Dissolució amb sal	ASTM B117	Duresa	ASTM-D3363
Adhesió a pintura	ASTM D3359	Resistència a "Mandrel Bend"	ASTM D522
Resistència a impacte	ASTM D2794	Resistència a l'abrasió	ASTM D4060



3. Assaigs i condicions d'ús

3.1 Explicació dels assaigs a realitzar per l'homologació de la llanta

A causa de la manca de normativa actual per les llantes realitzades en fibra de carboni s'empren els requeriments que marca la normativa UN/ECE 124, ja que és més restrictiva que la norma espanyola UNE 2625579. Aquesta norma fa referència als assaigs que ha de superar una llanta per tal que es pugui muntar en un vehicle en la comunitat econòmica europea. No obstant tots els requeriments són per llantes realitzades amb aliatges d'alumini o acer, tant siguin forjades com fetes amb fosa. Aquests requeriments venen dictaminats segons l'assaig a realitzar a la llanta. Així doncs es té 3 assaigs mecànics principals, ja que en aquest projecte no es té en compte l'estudi dels efectes dels assaigs per corrosió esmentats en la norma. I per tant els assaigs simulats amb el programa CAE, PTC Creo Simulate, són els següents:

- Test de deformació per torsió descrit en l'Annex 6 de la norma UN/ECE 124.
- Test de rotació descrit en l'Annex 7 de la norma UN/ECE 124.
- Test d'impacte descrit en l'Annex 8 de la norma UN/ECE 124.

Comentar que en el cas de la llanta a realitzar és tracta d'una llanta d'UNA SOLA PEÇA així doncs no es tracta d'una llanta desmuntable, la qual cosa marca una sèrie de condicionats per realitzar els tests, descrits. Tanmateix en els càlculs de l'estudi FEA s'han realitzat amb el model de llanta sense les plaques d'alumini. D'aquesta manera doncs solament s'analitza el comportament d'un únic sòlid.

A continuació realitzarem una breu síntesi del procés que ha de seguir cada assaig mecànic i posteriorment exposarem els resultats obtinguts mitjançant el programa de simulació per elements finits.



3.1.1 Test de deformació per torsió “Rotating Bending Test”

Durant aquest test s'aplicaran unes forces laterals a la llanta de manera tangencial que s'oposaran al moviment de rotació provocat per un moment M_b . Aquesta força estarà aplicada mitjançant una sèrie de brides en un banc fixe. En aquest test dos llantes han de ser sotmeses al 50% del moment màxim i dues més al 75%, M_{bmax} està calculat segons la fórmula del Annex 6 de la normativa UN/ECE 124. Tanmateix per la realització d'aquest test com no es pot aplicar un estudi del moment amb fatiga aplicarem el 100% de la càrrega per tal d'assegurar els resultats i una correcta optimització del model.

Així doncs M_{bmax} , estarà aplicat al cub de muntatge de la llanta i el sistema de subjecció de la llanta estarà collat al parell indicat per el fabricant.

En la figura 2.3.1 es pot observar la vista zenital del muntatge del conjunt, en què s'observa la fixació de la llanta al banc de treball, en la figura mostrat com a “no revolving table”.

Els requisits necessaris per a superar el test amb èxit són els següents:

- La llanta no ha de presentar cap mena d'esquerdes,
- El desplaçament de l'eix ha de ser menys del 10% després de 10.000 cicles.

La fórmula pel càlcul del moment és:

$$M_{bmax} = S \cdot F_v \cdot (\mu \cdot r_{dyn} + d)$$

Equació 2.3.1

On:

M_{bmax} = Moment màxim de deformació [N·m]

F_v = Càrrega màxima de la roda [N]

r_{dyn} = Radi dinàmic del pneumàtic més gran recomanat per la llanta [m]

d = Offset de la llanta [m]

μ = Coeficient de fricció.

S = Coeficient de seguretat.

Disseny i estudi preliminar d'homologació d'una llanta CFRP Alan Moncho Aracil

Els valors corresponents al cas estudiat venen representats en la taula 2.3.1 exposada a continuació:

Taula 2.3.1 Taula de valors necessaris per la realització del càlcul de l'equació 2.3.1

$S^{[1]}$	2	F_v	6376,5 N
$\mu^{[1]}$	0,9	r_{dyn}	0,08575 m
d		0,029 m	

Així doncs el moment màxim és:

$$M_{bmax} = 1.354,05 \text{ N} \cdot \text{m}$$

^[1] Nota: Per el càlcul d'alguns elements s'ha realitzat amb la mesura de pneumàtic que munta el vehicle esmentat en la memòria.

244/35 ZR19 93Y

Per els valors dels coeficients, venen determinats en l'annex 6, pàgina 21 de la norma UN/ECE 124.

En el cas analitzat al no poder realitzar la simulació amb FEA del test a fatiga solament analitzarem la falla estructural de la llanta en forma d'esquerdes , i en el cas de la deformació del eix solament es podrà verificar quina és en un estat estàtic.

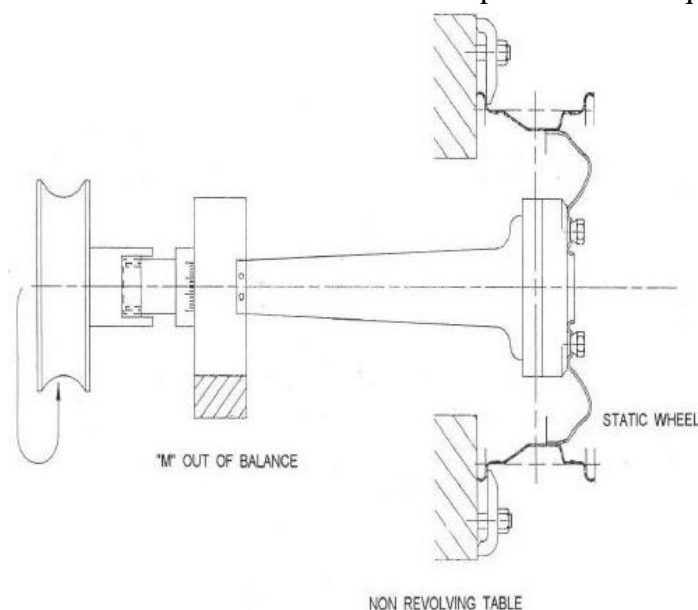


Figura 2.3.1 Diagrama que representa l'assaig descrit en l'annex 6 de la normativa UN/ECE 124.

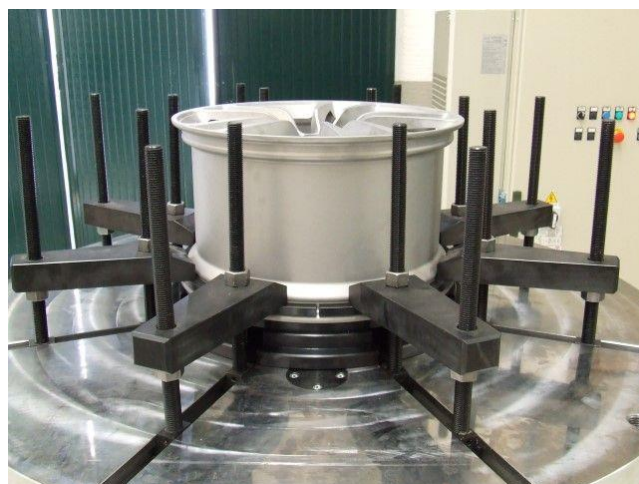


Figura 2.3.2 Muntatge real del assaig en laboratori "Rotating Bending Test"



3.1.2 Test de rotació o “Rolling Test”

Test de rotació descrit en l'annex 7 de la norma UN/ECE124.

L'assaig consisteix a simular les condicions nominals de funcionament del conjunt roda quan aquest està sotmès a la càrrega màxima i circula a la màxima velocitat, per tal de simular aquestes condicions, el conjunt rodarà sobre un cilindre amb un diàmetre mínim de 1,7 m sempre i quan ho faci per l'exterior. En cas que el conjunt rodi dins del tambor el diàmetre ha de ser equivalent al radi dinàmic del pneumàtic dividit per 0,4.(veure figura 2.3.3). A més a més, en aquest test s'especifica la necessitat de realitzar-lo dues vegades amb dues rodes diferents.

Es supera el test amb èxit si:

- El conjunt roda es capaç d'assolir una distància de 2.000 km
- La llanta no ha de presentar esquerdes
- La llanta no pot presentar una fuga de pressió d'aire entre ella mateixa i el pneumàtic

La pressió d'inflat del pneumàtic serà la màxima recomanada pel fabricant, en el nostre cas. La fitxa tècnica del vehicle indica una pressió màxima de 2,4 bar.

La fórmula emprada pel càlcul de la càrrega ve determinada per l'equació 2.3.2, presentada a continuació.

$$F_p = S \cdot F_v$$

Equació 2.3.2

On:

F_p = Força aplicada per la realització del assaig [N]

F_v = Càrrega màxima de la roda [N]

S = Coeficient de seguretat.

Taula 2.3.2 Taula de valors necessaris per la realització del càlcul de l'equació 2.3.2

$S^{[1]}$	2,5	F_v	6376,5 N
-----------	-----	-------	----------

Així doncs la càrrega màxima aplicada durant l'assaig és:

$$F_p = 15.941,25 \text{ N}$$

[1] Nota: Per el càlcul d'alguns elements s'ha realitzat amb la mesura de pneumàtic que munta el vehicle esmentat en la memòria.

244/35 ZR19 93Y

Per el valor dels coeficient de seguretat S , ve determinat en l'annex 7, pàgina 24 de la norma UN/ECE 124.

Així doncs es realitzarà un estudi estàtic amb l'aplicació de la pressió resultant de la petjada del pneumàtic en 3 instants de posició diferents. Analitzant doncs el cas més desfavorable.

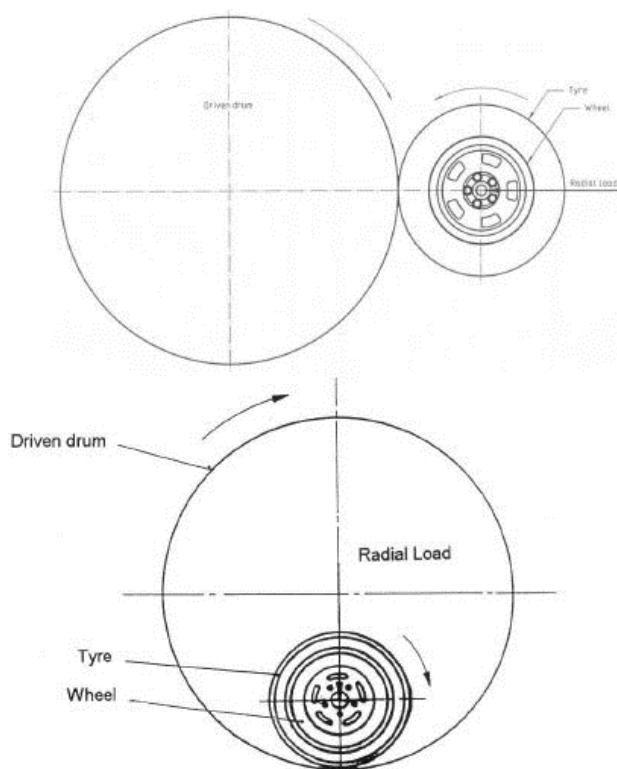


Figura 2.3.3 Diagrama que representa l'assaig descrit en l'annex 7 de la normativa UN/ECE 124. Amb les seves dues variants ,segons si el conjunt roda està dins o fora del element rodant.



Figura 2.3.4 Realització del assaig en laboratori "Rolling Test", Versió en que s'utilitza el cilindre exterior



3.1.3 Test d'impacte o "Impact Test"

Assaig descrit en l'annex 8 de la norma UN ECE 124 pàgina 26 i apèndix de l'annex 8.

L'objectiu d'aquest assaig és el de comprovar la resistència de la llanta envers possibles fractures i l'estudi de punts crítics quan aquesta és colpejada en el seu llavi exterior.

Així doncs el test simula la situació que es pot produir accidentalment condint quan el vehicle colpeja la vorera d'un carrer.

El procediment experimental de l'assaig consistirà en un impacte axial en l'àrea més exterior del llavi de la roda, el nombre d'assaigs dependran doncs de les possibles zones d'impacte, però la norma estipula almenys dues posicions.

- Zona d'unió entre el radi i el perfil de llanta
- Zona entre radis del perfil de llanta

A més a més la pressió del pneumàtic ha de ser d'almenys 200 kPa.

L'assaig es considera favorable si:

- No es poden apreciar fractures visibles que penetrin a través de la llanta separant els elements que conformen la llanda.
- No es podrà perdre pressió del pneumàtic en menys de 60 segons.
- Les fractures i deformacions causades per l'impacte directe i muntatge amb el plat fixador són acceptades.

La fórmula pel càlcul de la càrrega va determinada per l'expressió següent:

$$D = 0,6 \cdot \frac{F_v}{g} + 180 [kg]$$

Equació 2.3.3

On:

D = Valor de la càrrega [kg]

F_v = Càrrega màxima de la roda [N]

g = Acceleració deguda a la gravetat [m/s^2]

Taula 2.3.3 Taula de valors necessaris per la realització del càlcul de l'equació 2.3.3

g	$9,81 \text{ m/s}^2$	$F_v^{[1]}$	$6376,5 \text{ N}$
-----	----------------------	-------------	--------------------

Així doncs la massa en caiguda lliure aplicada durant l'assaig és:

$$D = 570 \text{ Kg}$$

[1] Nota: Per el càlcul d'alguns elements s'ha realitzat amb la mesura de pneumàtic que munta el vehicle esmentat en la memòria.

244/35 ZR19 93Y

- Aspectes de la màquina d'assaig i zona d'impacte:
 - La massa caurà des d'una alçada de $230 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ tenint com a referència el punt més alt del llavi de la llanta.
 - La zona d'impacte de la llanta haurà de ser entre la unió llanta-pneumàtic superposant-se en la primera per $25 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$.
 - La llanta ha de ser muntada amb una angulació de $13^\circ \pm 1^\circ$.
 - L'àrea d'impacte de la massa és de 125 mm d'ample per 375 mm de llarg.

Així doncs la representació de l'aparell emprat per realitzar l'assaig d'impacte queda reflectit en la figura 2.3.6.



Figura 2.3.5 Màquina real emprada per realitzar l'assaig d'impacte

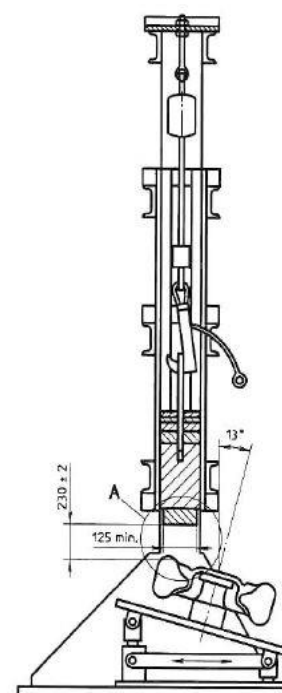
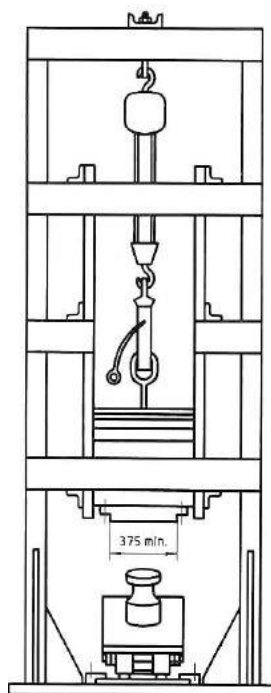


Figura 2.3.6 Diagrama que representa l'assaig descrit en l'annex 8 de la normativa UN/ECE 124.



III. Amidaments



Índex d'estat d'amidaments

1. Amidaments d'enginyeria.....	83
1.1 Amidaments de llicències de software.....	83
1.2 Amidaments de disseny.....	83
1.3 Amidaments de càlcul.....	83
2. Amidaments de fabricació i materials.....	84
2.1 Amidaments de materials.....	84
2.2 Amidaments de fabricació.....	85



1. Amidaments d'enginyeria

Consideració d'aspectes tècnics per la concepció del projecte

1.1 Amidaments de llicències de software

Realització del còmput global de les hores d'ús de les llicències emprades pel correcte desenvolupament del projecte.

▪ Software Office	100 h
▪ Software CAD 3D PTC Creo paramètric	200 h
▪ Software CAE 3D PTC Creo Simulate	70 h
▪ Software CAM Work nc	8 h
▪ Software CAM Edgecam	3 h

1.2 Amidaments de disseny

A continuació s'exposen les tasques relacionades amb el disseny i el temps dedicat a cadascuna de les tasques.

▪ Anàlisis previ de viabilitat del projecte i definició de requeriments.	
▪ Enginyer Júnior: Alan Moncho Aracil	10 h
▪ Director del projecte: Miquel Nogués Aymamí	6 h
▪ Realització de diferents opcions per a models 3D	110 h
▪ Optimització del model escollit	85 h
▪ Preparació del model per l'anàlisi FEA	5 h
▪ Recerca de materials i components per la construcció de la llanda	24 h
▪ Inspecció i revisió del disseny obtingut per el director del projecte	7 h

1.3 Amidaments de càlcul

Còmput de tasques relacionades amb la realització del càlcul FEA, sense comptar amb optimització i/o preparació del model, ja que està contemplat en l'apartat anterior.

▪ Anàlisis i recerca de dades per la realització de les simulacions	8 h
▪ Realització de les simulacions FEA	40 h
▪ Verificació i revisió de les dades obtingudes	
▪ Enginyer Júnior	8 h
▪ Director del projecte	6 h



2. Amidaments de fabricació i materials

Consideració d'aspectes tècnics per l'execució del projecte

2.1 Amidaments de materials

Còmput d'unitats i/o mesures dels materials emprats per la fabricació de la llanta.^[1]

- Material per la realització del motlle

▪ RAKU®-TOOL WB-0700 Bloc [1500x500x200 mm]	1 uds
▪ Eines de fresatge ^[2]	
▪ Fresa de desbast	1 uds
▪ Fresa d'acabat	1 uds
▪ Fresolí de detall (ball)	1 uds
▪ Plaqueta HS Desbast R0,05	1 uds
▪ Plaqueta HS Acabat R0,01	1 uds

- Materials necessaris per efectuar el buit

▪ LOCTITE®Frekote PMCT™	0,8 L
▪ LOCTITE® FREKOTE 770-NC™	0,4 L
▪ AeroFilm™ R210Film	3 m ²
▪ VACUOPLEX MP™	2 m ²
▪ Aerofilm® VB200	3 m ²
▪ Diatex K7666 Flash tape	4 m
▪ Vàlvula de buit	2uds

- Materials que conformen la llanta

▪ HexPly ® M81	5,5 m ²
▪ Core Lite®PVC HT60 Planxes [1220x813x50 mm]	1 ud
▪ HexBond™ EA9351MB STRUCTIL	0,5 uds
▪ Alumini 6061 T651 Barra [Ø10,4 cm x L 0,9144 m]	1ud

-Materials per la realització dels tractaments

▪ Glasurit® 541-30	0,3L
▪ Glasurit® 700-10	0,2L
▪ Glasurit® Laca HS Racing Clear VOC 923-135	0,7 L
▪ Glasurit® Endurecedor 929-31, -33	0,35 L
▪ Glasurit® Aditivo Racing 523-15	0,1 L
▪ MC-156 - High Gloss Ceramic Clear	0,7 L

NOTA:

[1]No s'han considerat tots els consumibles i/o eines com pistoles aerogràfiques, espàtules, llimes i altres estris i elements necessaris per a la realització de la llanta.

[2] S'han especificat eines necessàries també usades per les plaques d'alumini.



2.2 Amidaments de fabricació

En aquest punt s'especifica l'ús d'instal·lacions i/o maquinària específica necessària per a la fabricació de la llanda.

- Aspectes referents a la mecanització de peces.

▪ Ús del torn-fresadora ^[1]	30 h
▪ Ús de cabina de pintura ^[2]	48 h
▪ Ús del forn autoclau	4 h
▪ Mà d'obra	28 h

NOTA:

[1] Incloues hores per validació de programa, escalfament de màquina, i ajustaments necessaris.

[2] Còmput global d'hores incloues hores d'aplicació i procés d'eixugat dins de cabina així com procés de preparació de superfície.



IV. Pressupost

**Índex pressupostari**

1. Costos derivats de feines d'enginyeria.....	88
1.1 Cost de llicències de software.....	88
1.2 Costos de disseny i càlcul.....	88
2. Costos de fabricació i materials.....	88
2.1 Cost de materials per llanta.....	89
2.2 Costos de fabricació.....	90
3 Pressupost final.....	91



1. Costos derivats de feines d'enginyeria

1.1 Cost de llicències de software

Llicència	Cost Anual	Hores d'us	Cost total
Office	69,00€	100 h	0,80 €
PTC Creo paramètric	1.100,00 €	200 h	50,28 €
PTC Creo Simulate	1.100,00 €	70 h	17,58 €
Work nc i Edgecam	6.200,00 €	11 h	7,80 €
Total			76,46 €

1.2 Costos de disseny i càlcul

Tasca	Cost/h	Hores	Total
Anàlisis previs		18 h	540,00 €
Modelatge 3D	Eng. Júnior	110 h	3.300,00 €
Optimitzacions	30 €/h	85 h	2.550,00 €
Càlculs		61 h	1.830,00 €
Recerca		24 h	720,00€
Subtotal		234 h	8.940,00 €
Anàlisis previs	Eng. Sènior	6 h	360,00€
Inspecció i revisió	60 €/h	13 h	780,00 €
Subtotal		19 h	1.140,00 €
Total			10.080,00 €



2. Costos de fabricació i materials

2.1 Amidaments de materials

Còmput d'unitats i/o mesures dels materials emprats per la fabricació de la llanta.^[1]

Material	Preu Unitari /Unitats	Unitats / Quantitat	Cost
RAKU®-TOOL WB-0700	506,66 €/ Bloc	1	506,66 €
LOCTITE®Frekote PMCTM	7,182 €/ L	0,8 L	5,75 €
LOCTITE® FREKOTE 770-NC™	47,88 €/L	0,4 L	19,15 €
AeroFilm™ R210 Film	3,01 €/m ²	3 m ²	9,05 €
VACUOPLEX MP™	29,54 €/m ²	2 m ²	59,08 €
Aerofilm® VB200	2,88 €/m ²	3 m ²	8,64 €
Diatex K7666 Flash tape	1,11 €/m	4 m	4,44 €
Vàlvula de buit	84,87 €/ud	2 uds	169,74 €
HexPly ® M81	131,89 €/m ²	5,5 m ²	725,40 €
Core Lite®PVC HT60	21,78€/Planxa	1 ud	21,78 €
HexBond™ EA9351MB STRUCTIL	56,05 €/ud	0,5 uds	28,02 €
Alumini 6061 T651	112,4 €/Barra	1ud	112,40 €
Glasurit® 541-30	35,05 €/L	0,3L	10,51 €
Glasurit® 700-10	24,34 €/L	0,2L	4,87 €
Glasurit® Laca HS Racing Clear VOC 923-135	86,45 €/L	0,7 L	60,51 €
Glasurit® Endurecedor 929-31, -33	44,57 €/L	0,35 L	15,60 €
Glasurit® Aditivo Racing 523-15	55,40 €/L	0,1 L	5,54 €
MC-156 - High Gloss Ceramic Clear	94,12 €/L	0,7 L	65,88 €
Total			1.833,02 €

NOTA:

[1]No s'han considerat cap dels consumibles i/o eines com pistoles aerogràfiques, espàtules, llimes i altres estris i elements necessaris per la realització de la llanta.



2.2 Costos de fabricació

En aquest punt s'especifica l'ús d'instal·lacions i/o maquinària específica necessària per la fabricació de la llanta.

Tasca	Cost/h	Hores	Total
Torn-fresadora ^[1]	32 €/h	30 h	960,00€
Cabina de pintura ^[2]	35 €/h	48 h	1.680,00 €
Ús del forn autoclau	50 €/h	4 h	200,00 €
Mà d'obra Eng.Júnior.	30€/h	28 h	840,00 €
Total			3.680,00 €

NOTA:

[1] Incloses hores per validació de programa, escalfament de màquina, i ajustaments necessaris, així com preu de les hores d'operari de màquina.

[2]Còmput global d'hores incloses hores d'aplicació i procés d'eixugat dins de cabina així com procés de preparació de superfície.

**3. Pressupost final.**

Concepte	Sub Total	Preu Total
Llicències de software	76,46 €	
Cost del projecte disseny i càlcul	10.080,00 €	
Cost de concepció del projecte		10.156,46 €
Cost dels materials	1.833,02 €	
Cost associats a fabricació	3.680,00 €	
Despeses associades a fabricació (10%)	386,00 €	
Subtotal		5.899,02 €
Benefici empresarial (9%)	530,91 €	
Cost d'execució del projecte		6.429,93 €
Total sense IVA		16.586,39 €
IVA (21%)		3.483,14 €
TOTAL		20.069,53

La quantitat total pressupostada per l'execució i concepció del projecte ascendeix a:

20.069,53 €

VINT MIL SEIXANTA-NOU EUROS AMB CINQUANTA-TRES CÈNTIMS.

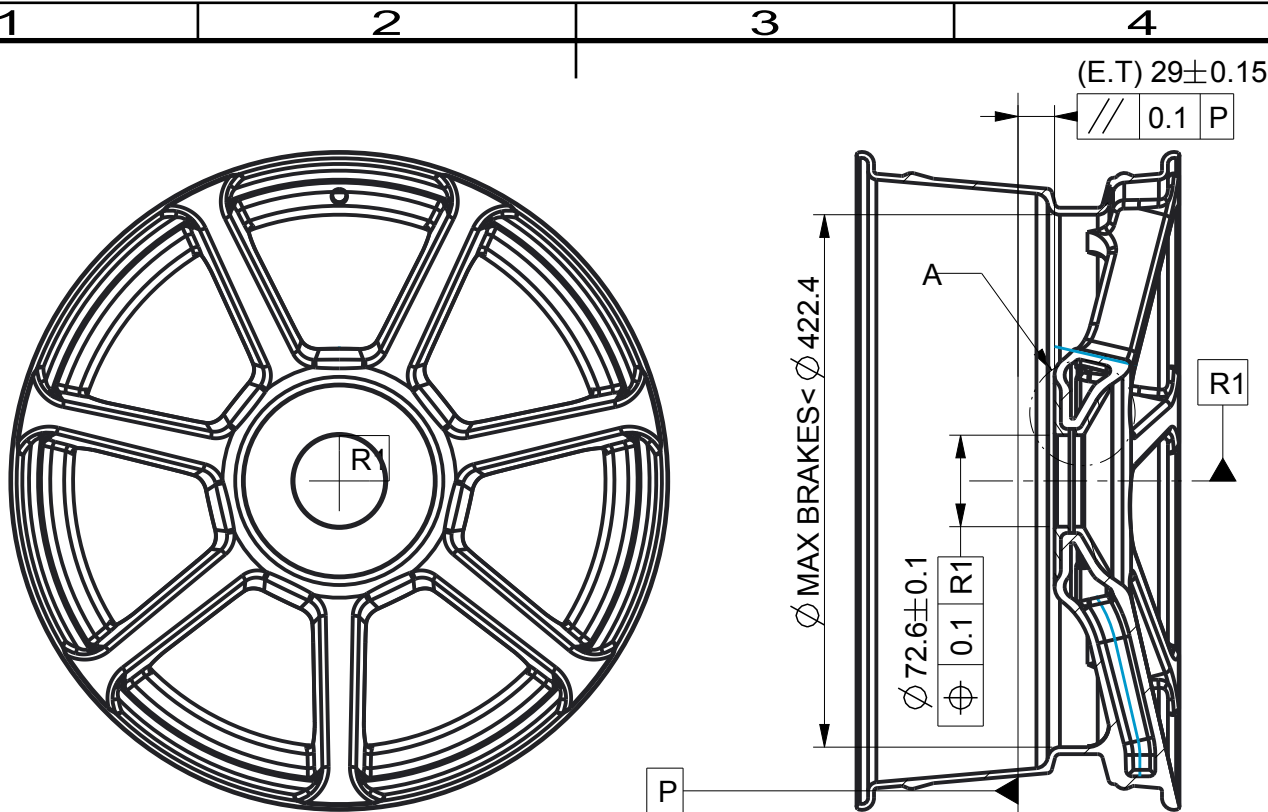


V. Plànols

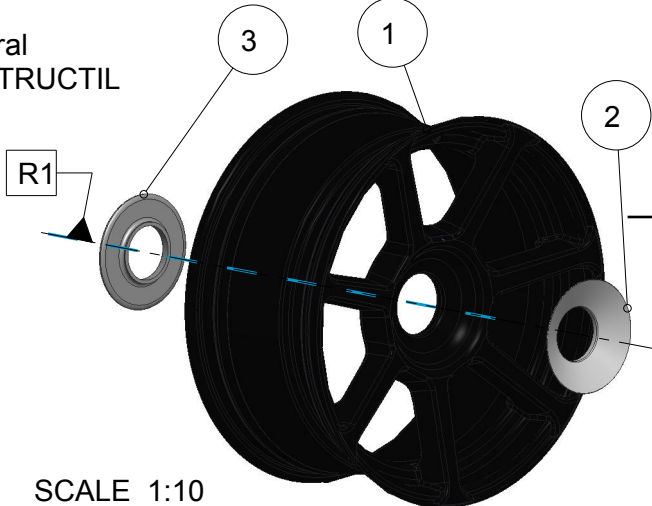
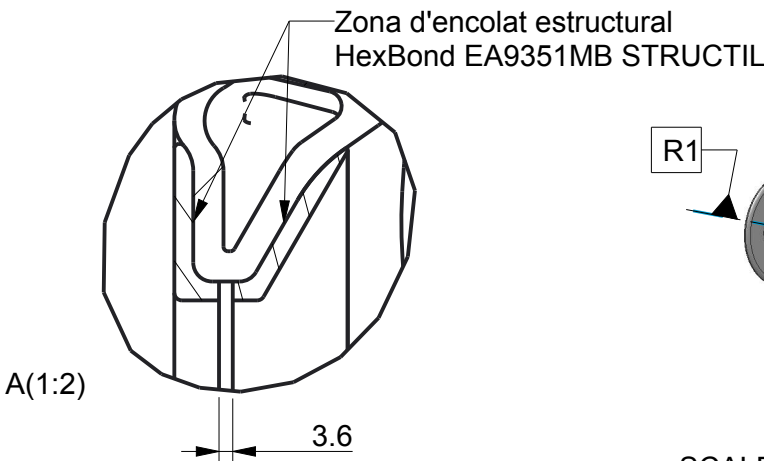


Índex de plànols

1. Vista general de l'assemblatge i detall zona d'unió.....	94
2. Plànol general de la llanta AK 77 CLK.....	95
3. Plànol de placa frontal.....	96
4. Plànol de placa posterior.....	97



SECTION SECCIO_PERFIL-SECCIO_PERFIL



Índex	Component de la llanta	Material	Massa
1	AK_77_CLK	M81/38%/UD150/CHS	6,453 kg
2	PLACA_FRONTAL	AL6061	0,210 kg
3	PLACA_POSTERIOR	AL6061	0,218 kg

Material: M81 & AL6061 T651

Massa (kg): 6.881

Tractament tèrmic:

Ceramic clear coat MC-156

Tractament superficial:

Ceramic clear coat MC-156

Projectat:

Alan Moncho 01/09/2018

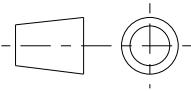
Aprovat:

Miquel Nogués 03/09/2018

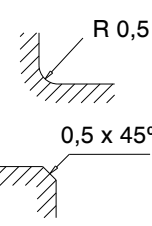
Toleràncies generals (mm) i (°)

Dimensió	Tolerància
0 - 10	± 0,5
10 - 50	± 0,8
50 - 200	± 1,5
> 200	± 2
Angles	± 1°

Rugositat no indicada:



Acords no indicats



EPS

Escola Politecnica Superior



Universitat de Lleida

Descripció

Vista general de l'assemlatge & Detall de la zona d'unió

Referència

AK_77_CLK

Escala: 1:5

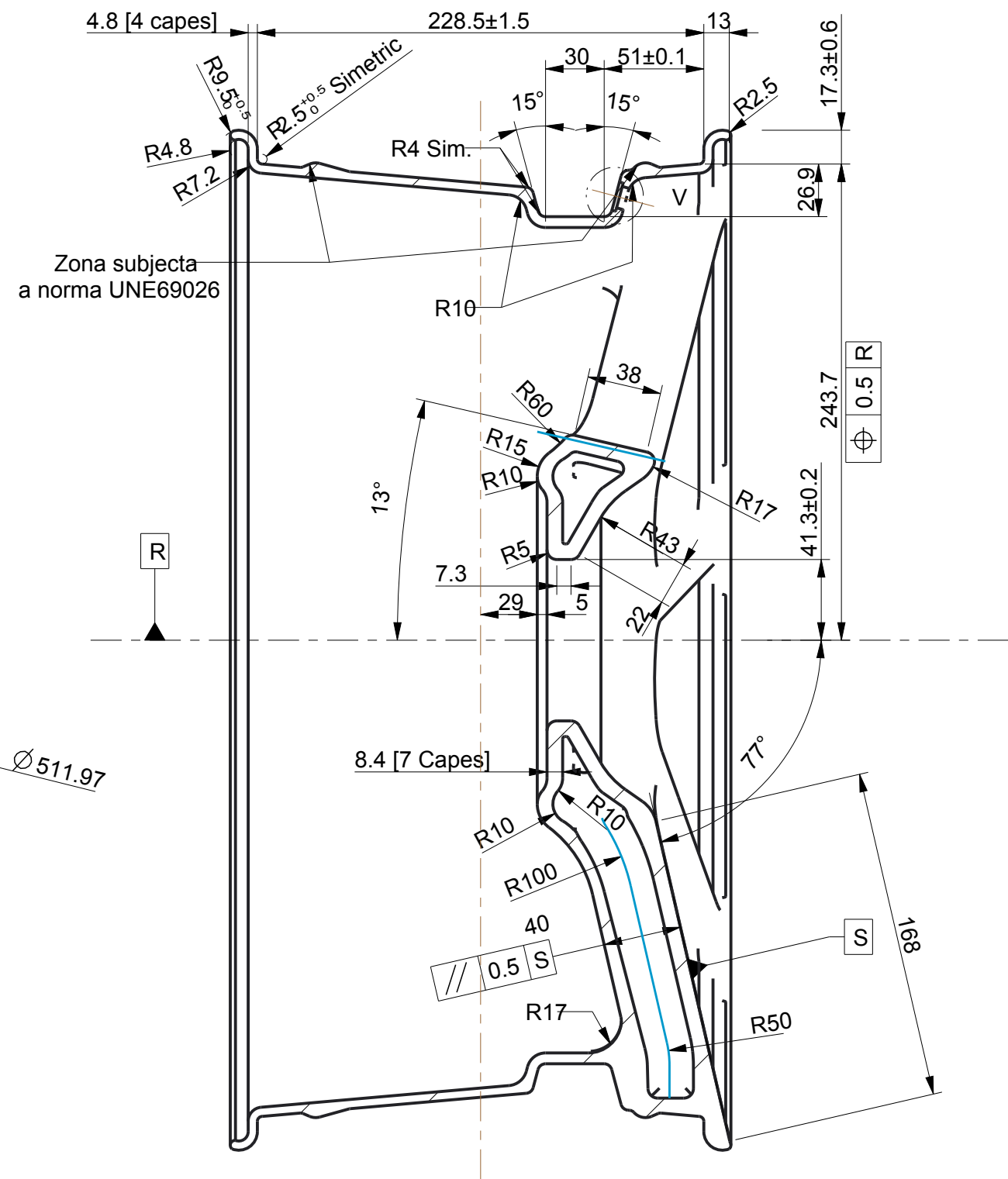
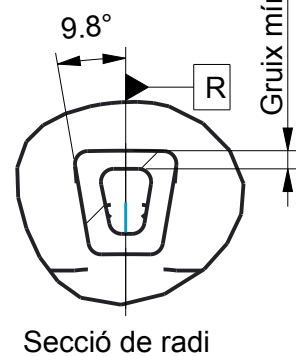
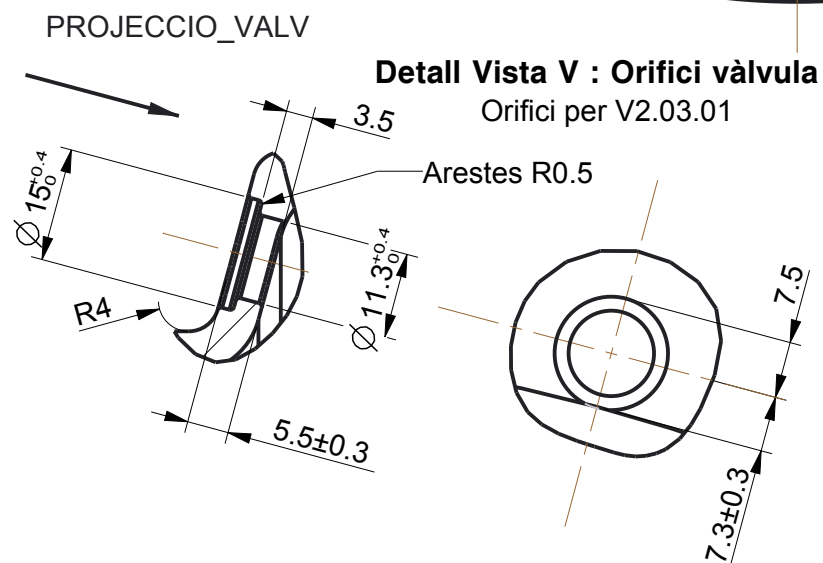
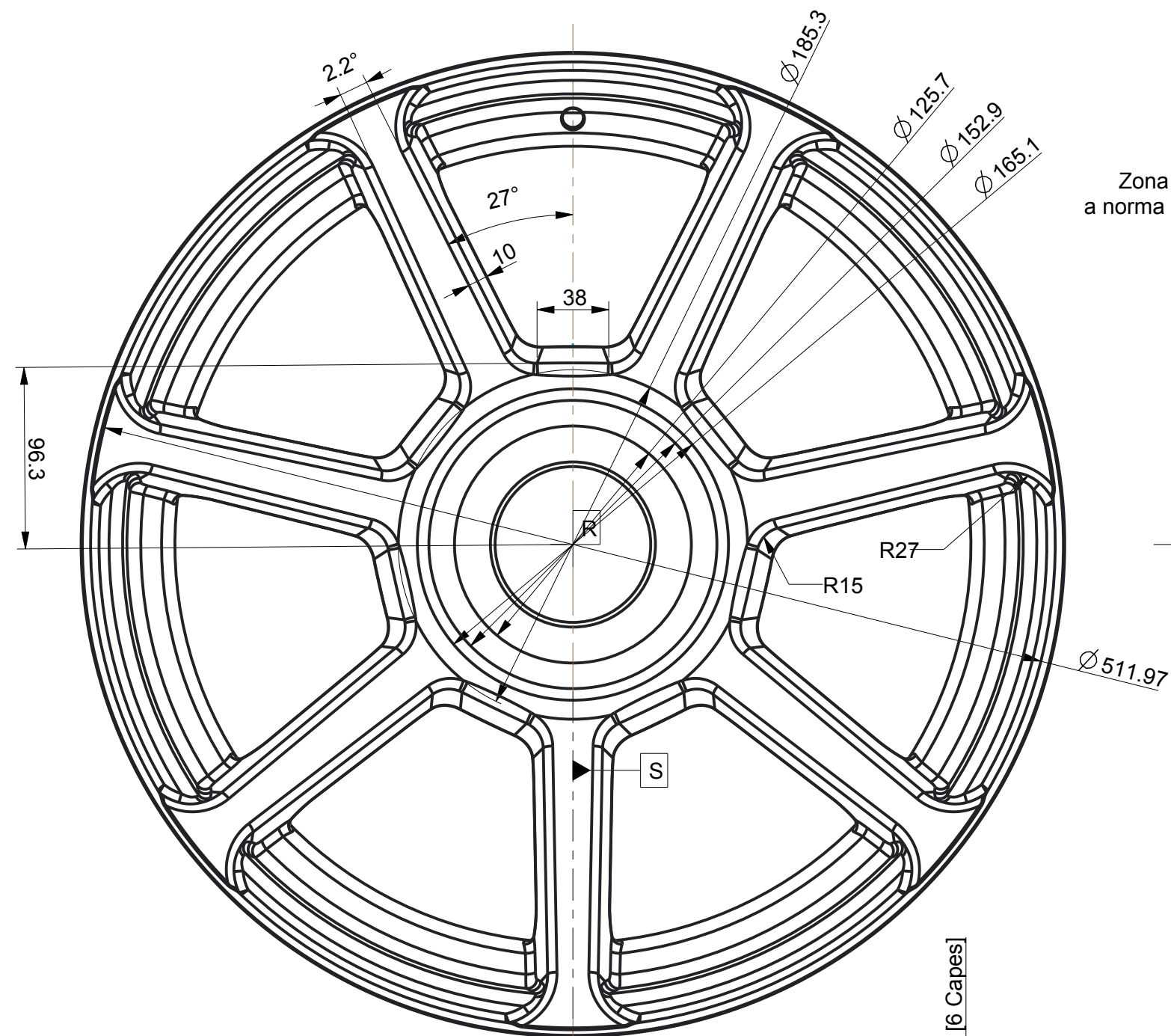
Format: A4

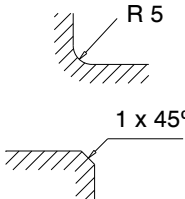

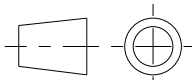
Revisió:

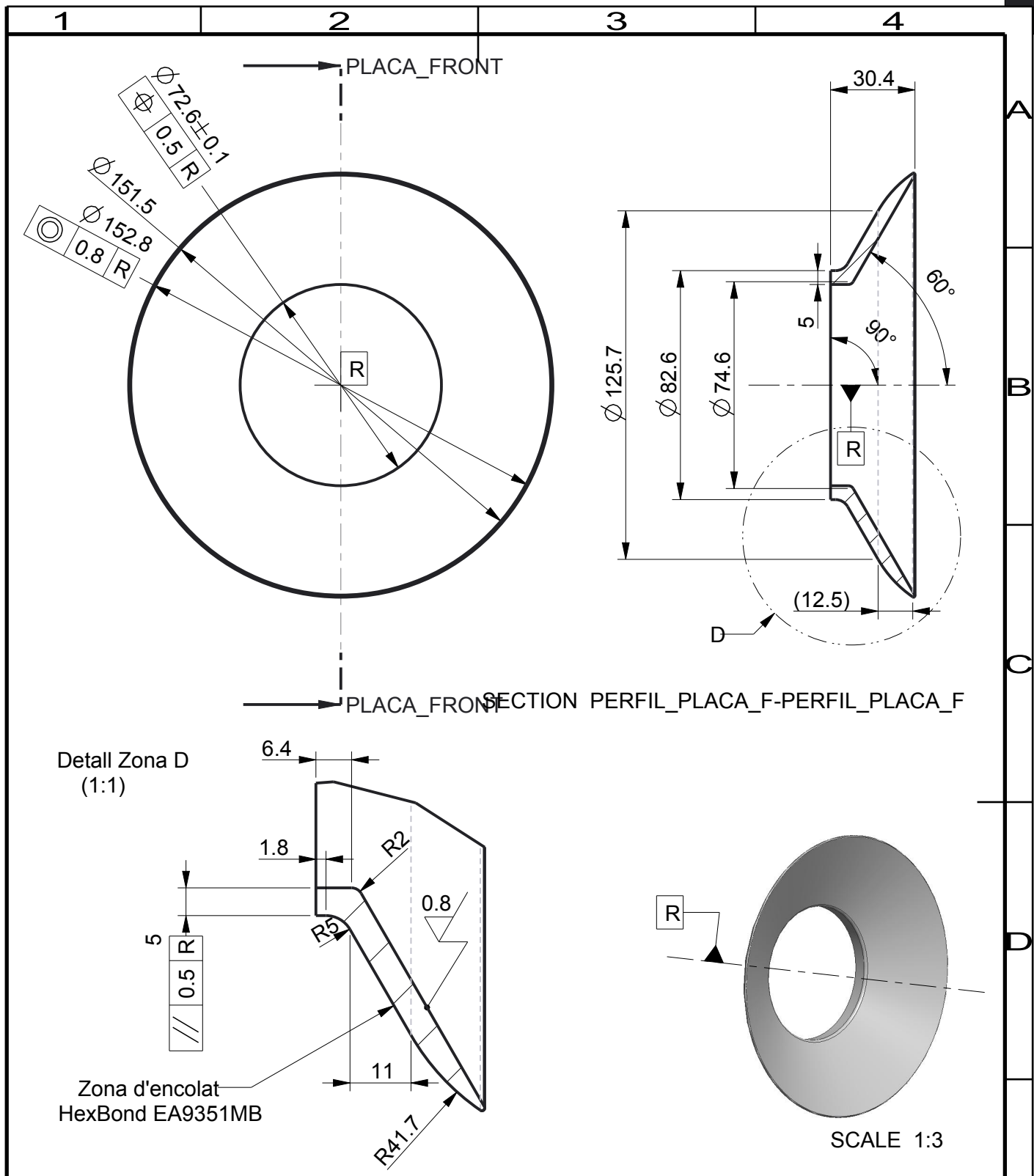
1

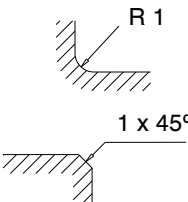



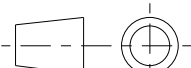
Full:

1/4



Material: M81/38%/UD	Toleràncies generals (mm) i (°)		Acords no indicats	EPS		Universitat de Lleida	
Massa (kg): 6.453				Escola Politecnica Superior			
Tractament tèrmic:	Dimensió	Tolerància			Descripció		
Ceramic Clear Coat MC-156	0 - 10	± 0,5					
Tractament superficial:	10 - 50	± 0,8			Llanta AK 77 CLK		
	Ceramic Clear Coat MC-156	50 - 200	± 1,5				
Projectat:	> 200	± 2	Referència				
	Alan Moncho 01/09/2018	Angle			± 1°		
	Rugositat no indicada: 		AK_77_CLK				
Aprovat:							
Miquel Nogués 03/09/2018			Escala: 1:3	Revisió: 1 Full: 2/4			
			Format: A3				



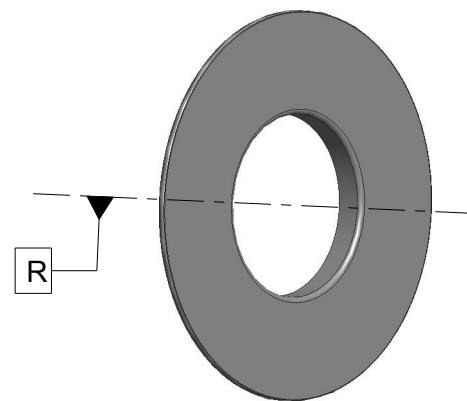
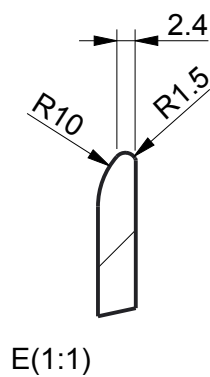
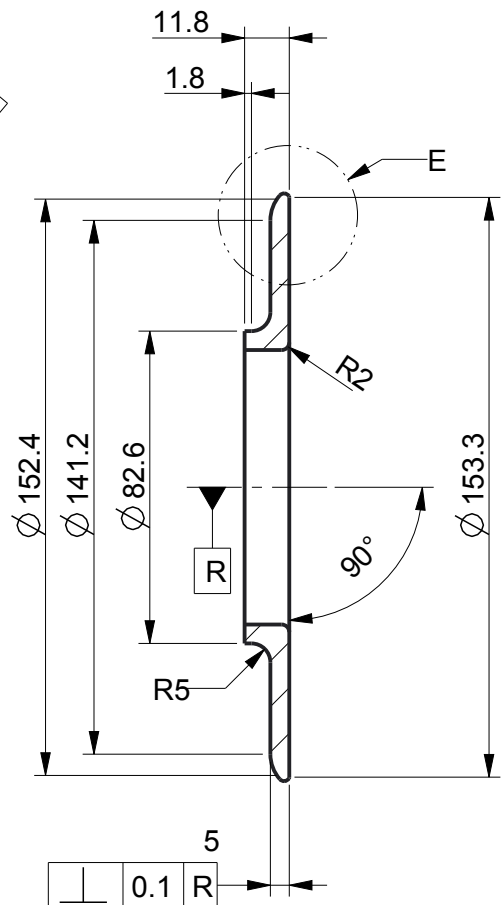
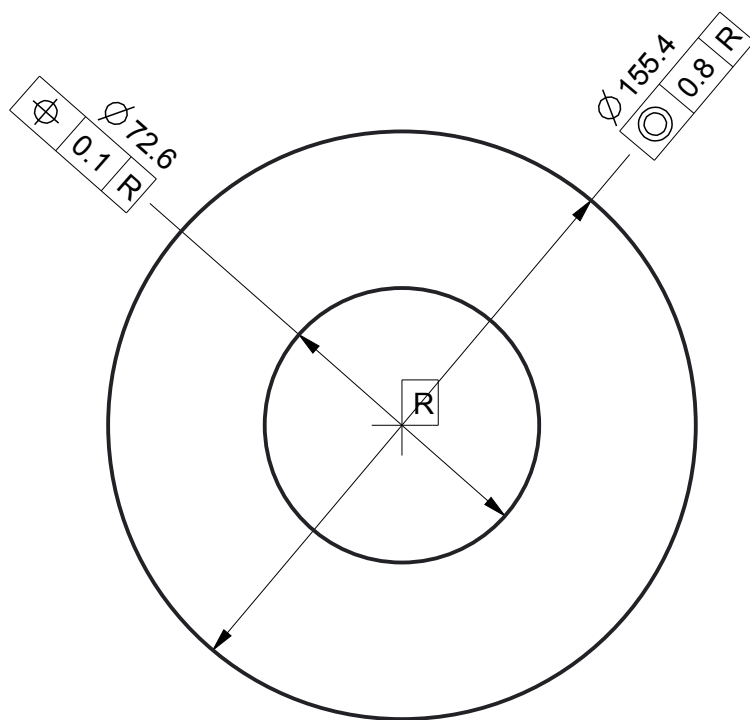
Material: AL6061 T651	Toleràncies generals (mm) i (°)		Acords no indicats 	 Escola Politecnica Superior		 Universitat de Lleida			
Massa (kg): 0,210									
Tractament tèrmic: T651	Dimensió	Tolerància		Descripció Plànol del element "Placa Frontal"					
Tractament superficial: Mecanitzat	0 - 10	± 0,1							
	10 - 50	± 0,2							
	50 - 200	± 0,8							
Projectat:	> 200	± 1	Referència PLACA_FRONTAL						
	Graus	± 1°							
Alan Moncho 01/09/2018	Rugositat no indicada: 			2					
Aprovat:								Escala: 1:2	
Miquel Nogués 03/09/2018								Format: A4	
					Full:		3/4		

1

2



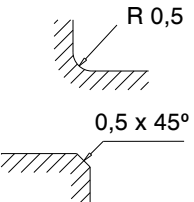

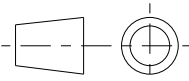
3

4



Plànol

SCALE 1:3

Material: AL6061 T651	Toleràncies generals (mm) i (°)		Acords no indicats	 Escola Politècnica Superior		 Universitat de Lleida	
Massa (kg): 0,218							
Tractament tèrmic:	Dimensió	Tolerància		Descripció			
T651	0 - 10	± 0,1					
Tractament superficial:	10 - 50	± 0,2					
	50 - 200	± 0,8					
	Mecanitzat	> 200					± 1
Projectat:	Graus	± 1°	Plànol del element "Placa Posterior"				
Alan Moncho 01/09/2018	Rugositat no indicada: 						Referència
Aprovat:			Escala: 1:2	Placa_Posterior			
Miquel Nogués 03/09/2018			Format: A4				Revisió: 2



Pàgina intencionadament en blanc.



Pàgina intencionadament en blanc.